

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
BIOGAS (PLTBG) DARI SAMPAH ORGANIK
KABUPATEN BENGKALIS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

DONI KURNIAWAN

11355101860

TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2021

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBG) DARI SAMPAH ORGANIK KABUPATEN BENGKALIS

TUGAS AKHIR

Oleh :

DONI KURNIAWAN
1355101860

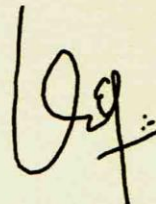
Telah diperiksa dan disetujui sebagai Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 26 Februari 2021

Ketua Program Studi



Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
NIP.19750922 200912 2 002

Pembimbing



Susi Afriani, ST., MT
NIP.19820414 201503 2 002

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBG) DARI SAMPAH ORGANIK KABUPATEN BENGKALIS

TUGAS AKHIR

Oleh:

DONI KURNIAWAN
11355101860

Telah dipertahankan di depan sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 25 Februari 2021

Pekanbaru, 26 Februari 2021

Mengesahkan,



Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag
NIP. 19640301 199203 1 003

Ketua Program Studi

Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

DEWAN PENGUJI:

Ketua : Arif Marsal, Lc., MA

Pembimbing : Susi Afriani, ST., MT

Penguji I : Zulfatri Aini, ST., MT

Penguji II : Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

© Hak Cipta dimiliki UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU



LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka. Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 26 Februari 2021

Yang membuat pernyataan,

DONI KURNIAWAN

11355101860

1. Dilarang untuk menyalin atau memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PERSEMBAHAN

وَاللَّهُ الَّذِي أَنْقَضَ ظَهْرَكَ وَرَفَعْنَا لَكَ ذِكْرَكَ فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَب

اللَّهُ الَّذِي أَنْقَضَ ظَهْرَكَ
وَرَفَعْنَا لَكَ ذِكْرَكَ
فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا
إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا
فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ
وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَب

Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain dan hanya kepada Robbmulah hendaknya kamu berharap".

(Q.S Al-Insyirah ayat: 7-8)

Ya Allah kau adalah zat yang menguasai seluruh alam, aku adalah seorang hambamu, Aku bersetatus seorang hamba, hamba yang da'if, hamba yang lemah, hamba yang hina di hadapanmu. Kau memegang hatiku, kau memegang ubun-ubun ku, buatlah hati ku dipenuhi ketakwaan kepada-Mu. Selalu membaca Al-Quran dan sunnah Rosulluallah SAW, memahami, mengamalkannya, serta mencintai-Mu, Rosulmu Keluarganya dan Sahabatnya. Suka dan benci karena-Mu.

.....Ku persembahkan.....

Asa nan teraih ini buat mereka yang mengasihi dan mencintaiku, malaikat hidupku yang merangkul dan membimbing dengan penuh tulus, menuntun tanpa jenuh, mencari tanpa lelah, melindungi dengan penuh perjuangan, mendo'akan dengan penuh ketulusan, untuk yang teristimewa PAPA ku tercinta (Ammismar), MAMA ku terkasih (Yendri Yelis), KAKAK Satu-Satunya (Elvi Madona), Serta Adik Pembungsu (Ello Alfa Kurniawan). serta seluruh keluarga besarku tercinta yang telah membesarkan, mendidik, dan mencurahkan kasih sayang kepadaku, sejak aku bernafas hingga terus mendewasa sampai di titik ini, serta ucapan terimakasih teruntuk dukungan dan motivasi terbaik agar terus menghebat

(Doni Kurniawan, 2021)

UIN SUSKA RIAU



ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBG) DARI SAMPAH ORGANIK KABUPATEN BENGKALIS

DONI KURNIAWAN

NIM: 11355101860

Tanggal Sidang: 24 Februari 2021
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sain dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah penduduk terus meningkat setiap tahunnya mengakibatkan peningkatan produktivitas timbulan sampah dari aktivitas manusia sehari – hari. Untuk kecamatan Bengkalis dan Bantan hanya memiliki satu TPA yaitu TPA Bantan dengan kapasitas pengolahan 20 ton/hari, dengan produksi sampah yang di proyeksikan mencapai 87,7 ton/hari pada tahun 2024 akan berdampak pada penumpukan sampah di TPA. Sampah organik yang menjadi komposisi terbesar dalam produksi sampah memiliki potensi besar untuk dijadikan biogas sebagai bahan baku pembangkit listrik maupun sumber bahan bakar alternatif. *Anaerobic digestion* dan unit *combined heat and power* (CHP) digunakan dalam penelitian di mana dengan rata-rata 50 ton/hari sampah organik yang digunakan dapat menghasilkan listrik sebesar 277.539 kWh/hari dengan kapasitas pembangkit 12 MW. Net Present Value (NPV) yang positif pada penelitian membuatnya sangat layak untuk dilakukan.

Kata kunci: *anaerobic digestion*, biogas, energi listrik, Kabupaten Bengkalis, NPV, unit CHP

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Sate Islamic University of Sultan Syarif Kasim

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF BIOGAS POWER PLANT (PLTBG) FROM ORGANIC WASTE BENGKALIS DISTRICT

DONI KURNIAWAN

NIM: 11355101860

Trial Date: 24 February 2021
Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Abstract

Population growth continues to increase every year increasing the productivity of waste generation from daily people activities. Bengkalis and Bantan sub-districts only have one landfill, namely the Bantan landfill with a processing capacity of 20 tons/day, with waste production projected to reach 87.7 tons/day in 2024 the roots have an impact on the accumulation of garbage in the landfill. Organic waste, which is the largest composition in waste production, has a great potential to be turned into biogas as a raw material for power plants and an alternative fuel source. Anaerobic digestion and combined heat and power (CHP) units are used in the research where an average of 50 tons/day of organic waste can generate electricity of 277,539 kWh/day with a generating capacity of 12 MW. Positive Net Present Value (NPV) in research makes it very feasible to do so.

Keywords: anaerobic digestion, biogas, electrical energy, Bengkalis Regency, NPV, CHP unit



KATA PENGANTAR



Assalammu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji dan syukur selalu tercurah kehadiran Allah Swt atas limpahan Rahmat, Nikmat, Ilmu, dan Karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat mengerjakan dan akhirnya menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) dari Sampah Organik Kabupaten Bengkalis**” sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Shalawat beserta salam penulis hadiahkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu‘Alaihi Wassalam yang merupakan suri tauladan bagi kita semua, semoga kita semua termasuk dalam umatnya yang kelak mendapat syafa’at dari beliau.

Banyak sekali yang telah penulis peroleh berupa ilmu pengetahuan dan pengalaman selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro. Penulis berharap Tugas Akhir ini nantinya dapat berguna bagi semua pihak yang memerlukannya. Penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang setulusnya kepada pihak-pihak yang terkait berikut:

1. Bapak Prof. Dr. H. Akhmad Mujahidin, S.Ag, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
2. Bapak Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Teristimewa Kedua Orang tua penulis, serta kakak dan adek yang telah mendo’akan dan memberikan dukungan, serta motivasi agar penulis dapat tawakal dan sabar sehingga sukses memperoleh kelancaran dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
5. Bapak Mulyono, S.T., M.T, selaku Sekretaris Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
6. Bapak Ahmad Faizal, ST., MT, selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi yang selalu membantu tugas akhir ini.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

7.

Ibu Susi Afriani, ST., MT, selaku dosen pembimbing yang selalu membantu memberikan inspirasi, motivasi, dan kesabaran memberikan arahan maupun kritikan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

8.

Ibu Zulfatri Aini, ST., MT selaku Dosen Penguji I dan Ibu Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc selaku dosen penguji II yang telah banyak memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

9.

Ibu Rika Susanti, ST., M.Eng selaku dosen Penasehat Akademik dan Pembimbing Akademik yang mengarahkan dan membimbing penulis dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) di Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Energi Fakultas Sains dan Teknologi.

10.

Pimpinan, staff dan karyawan Jurusan Teknik Elektro serta Fakultas Sains dan Teknologi.

11.

Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATE) UIN SUSKA RIAU.

12.

Para Sahabat dari Sungai Salak dan rekan-rekan seperjuangan angkatan 2013

13.

Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberi motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini mulai dari awal hingga selesai yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya semogailmu yang diberikan kepada penulis dapat bermanfaat.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima segala saran serta kritik yang bersifat membangun, agar lebih baik dimasa yang akan datang.

Harapan penulis, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri khususnya, serta memberikan manfaat yang luar biasa bagi pembaca dimasa mendatang. Amin.

Wassalamu'alaikum wr.wb

Pekanbaru, 26 Februari 2021
Penulis

Doni Kurniawan



DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERNGESAHAN	iii
LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR RUMUS	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	I.1
1.1 Latar Belakang	I.1
1.2 Rumusan Masalah	I.5
1.3 Tujuan Penelitian	I.6
1.4 Batasan Masalah	I.6
1.5 Manfaat Penelitian	I.6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II.1
2.1 Penelitian Terkait	II.1
2.2 Landasan Teori.....	II.4

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2.1	Sampah.....	II.5
2.2.2	Sampah Organik.....	II.5
2.2.3	Biogas.....	II.6
2.2.4	Anaerobic Digestion.....	II,6
2.2.5	Peralatan Proses PLTBg.....	II.13
2.2.6	Simulasi.....	II.15
2.2.7	SuperPro Designer Software.....	II.16
2.2.8	Aspek Teknis dan Ekonomis.....	II.18

BAB III Metodologi Penelitian III.1

3.1	Jenis Penelitian.....	III.1
3.2	Proses Alur Penelitian.....	III.1
3.3	Diagram Alur Penelitian.....	III.2
3.4	Tahapan Perencanaan.....	III.3
3.4.1	Studi Literatur.....	III.3
3.4.2	Studi Pendahuluan.....	III.3
3.4.3	Identifikasi Masalah.....	III.3
3.4.4	Penentuan Judul.....	III.3
3.4.5	Rumusan Masalah.....	III.4
3.4.6	Tujuan Penelitian.....	III.4
3.5	Pengumpulan Data.....	III.4
3.6	Diagram Alir Proses.....	III.5
3.6.1	Teknologi Anaerobic Digestion.....	III.6
3.6.2	Unit Combined Head and Power.....	III.7
3.6.3	Unit Digestate Treatment.....	III.8



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.7	Proses Simulasi	III.8
3.7.1	Menentukan Mode Operasi	III.9
3.7.2	Mendefinisikan Komponen	III.10
3.7.3	Unit Prosedur dan Menjalankan Aplikasi	III.12
3.8	Validasi Simulasi	III.14
3.9	Aspek Teknis dan Ekonomis	III.15
3.9.1	Analisis Teknis PLTBg	III.15
3.9.2	Analisis Ekonomis PLTBg	III.16
3.9.3	Analisis Finansial	III.18
3.10	Kesimpulan dan Saran	III.19
3.11	Jadwal Penelitian	III.19
BAB IV	Hasil Penelitian dan Pembahasan	IV.1
4.1	Profil TPA Bantan Kabupaten Bengkalis	IV.1
4.2	Produksi Sampah Kabupaten Bengkalis Tahun 2024	IV.1
4.2.1	Jumlah Penduduk Kabupaten Bengkalis Tahun 2024	IV.1
4.2.2	Produksi Sampah Organik Kabupaten Bengkalis Tahun 2024	IV.2
4.3	Tahapan Simulasi	IV.3
4.3.1	Penentuan Mode Simulasi	IV.3
4.3.2	Penentuan Komponen	IV.3
4.3.3	Tahapan Proses	IV.5
4.4	Penentuan Keekonomisan	IV.14
4.4.1	Modal Investasi	IV.14
4.4.2	Modal Kerja	IV.15
4.4.3	Biaya Operasi	IV.15



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.5 Simulasi	IV.17
4.6 Hasil Simulasi.....	IV.17
4.6.1 Analisis Teknis.....	IV.17
4.6.2 Analisis Ekonomi.....	IV.29

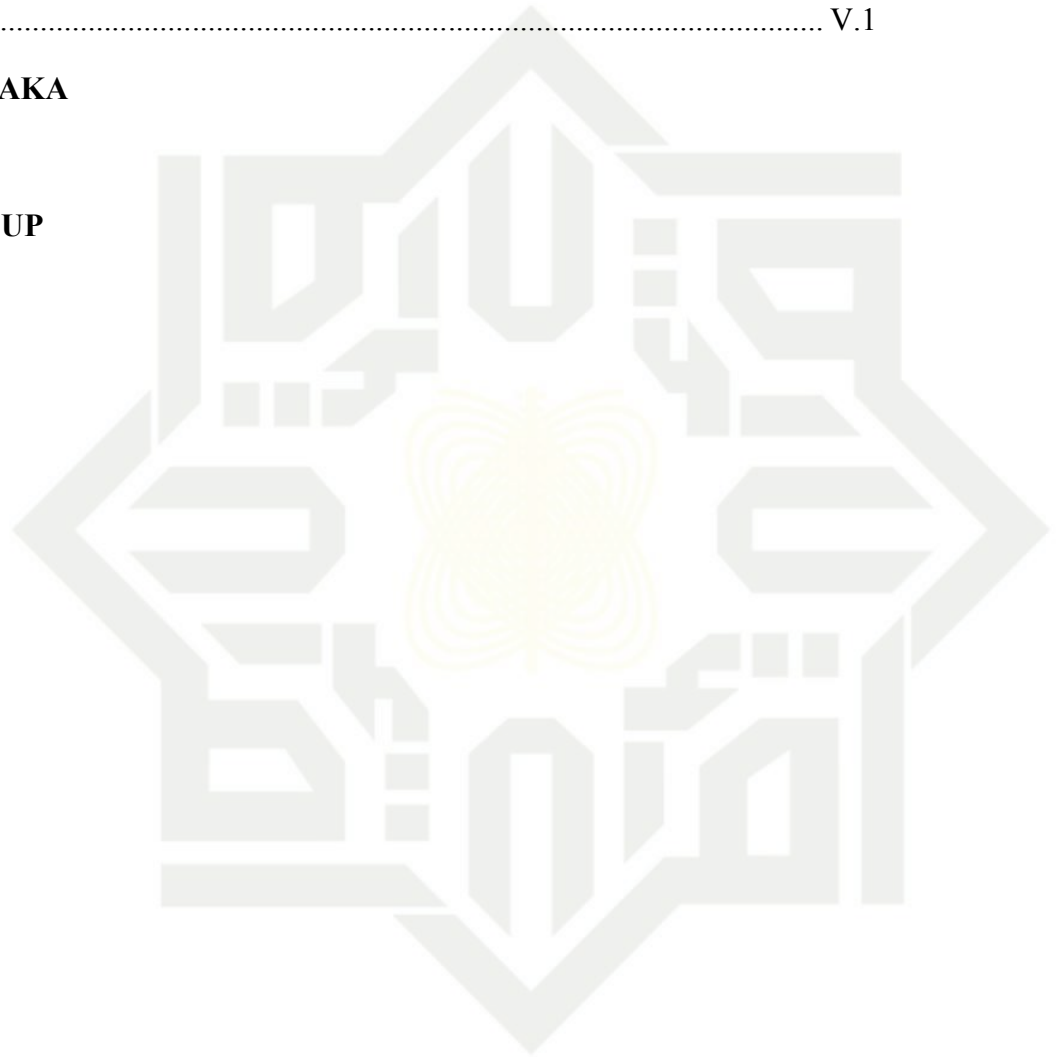
BAB V Kesimpulan dan SaranIV.1

5.1 Kesimpulan.....	V.1
5.2 Saran	V.1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

RIWAYAT HIDUP



UIN SUSKA RIAU



DAFTAR GAMBAR

Gambar

Halaman

2.1	Diagram rantai metanogen dan berbagai tahapannya.....	II-7
3.1	<i>Flowcart</i> Tahapan Penelitian.....	III-2
3.2	Unit proses produksi energi listrik dari biogas.....	III-6
3.3	<i>Flowchart</i> Tahapan Simulasi.....	III-8
3.4	Pengaturan Mode Operasi	III-9
3.5	Pengaturan <i>input</i> Komponen pada SuperPro Designer.	III-11
3.6	Pemilihan Unit Procedure.....	III-13
3.7	Pengaturan Mode Operasi	III-9
4.1	Pure Components bagian 1	IV-4
4.2	Pure Components bagian 2	IV-4
4.3	Stock Mixtures Components	IV-4
4.4	Komponen Sampah Organik	IV-5
4.5	Reaksi Hidrolisis Karbohidrat	IV-6
4.6	Reaksi Hidrolisis Lemak	IV-6
4.7	Reaksi Hidrolisis Protein.....	IV-7
4.8	Reaksi Asidogenesis Cystine.....	IV-7
4.9	Reaksi Asidogenesis Oleic Acid	IV-7
4.10	Reaksi Asidogenesis Glucose.....	IV-8
4.11	Reaksi Asidogenesis Glycerol.....	IV-8
4.12	Reaksi Asetogenesis Ethil Alcohol	IV-8
4.13	Reaksi Asetogenesis Lactic Acid	IV-9
4.14	Reaksi Asetogenesis Butyric Acid	IV-9
4.15	Reaksi Asetogenesis Propionic Acid.....	IV-9
4.16	Reaksi Metanogenesis Acetic Acid	IV-10
4.17	Reaksi Metanogenesis Carbon Dioxide.....	IV-10
4.18	Stream Keluaran Biogas pada digester anaerob	IV-11
4.19	Stream keluaran samping digester anaerob	IV-12
4.20	Produksi Pupuk (<i>Fertilizer</i>).....	IV-12
4.21	<i>Diagram</i> tahapan pembangkitan listrik	IV-13
4.22	Input Modal Investasi	IV-15



4.23	Input Modal Kerja	IV-15
4.24	Input Biaya Labor	IV-16
4.25	Input Biaya Utilitas.....	IV-16
4.26	Input Biaya Listrik.....	IV-17
4.27	Hasil Produksi dan Kadar Biogas	IV-18

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU



DAFTAR TABEL

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Tabel

		Halaman
2.1	Komposisi Sampah Kabupaten Bengkalis.....	II-6
2.2	Kebutuhan Nutrisi dalam Digester	II-9
2.3	Tingkat Konsentrasi Penghambat Pertumbuhan Nutrisi.....	II-10
2.4	Mikroba dari Setiap proses pada Anaerobic Digestion	II-11
2.5	Rasio Karbon Nitrogen Bahan Organik.....	II-12
2.6	Perbedaan Batch dan Continuous Process.....	II-17
2.7	Asumsi yang digunakan untuk modal biaya operasional tahunan.....	II-20
2.8	Faktor perkalian <i>feed-in tariff</i> daerah	II-21
3.1	Besaran timbulan sampah berdasarkan klasifikasi kota	III-4
3.2	Jumlah Penduduk Pulau Bengkalis	III-5
3.3	Komposisi pada sampah organik.....	III-10
3.4	Unit Procedure.....	III-12
3.5	Jadwal Penelitian	III-19
4.1	Harga Peralatan.....	IV-14
4.2	Daftar spesifikasi umum peralatan	IV-19
4.3	Rencana bisnis (<i>Executive Summary</i>).....	IV-19

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim

UIN SUSKA RIAU



DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
2.1 Total Penduduk pada tahun proyeksi.....	II-5
2.2 Timbulan Sampah 2024.....	II-5
2.3 Berat Sampah Organik	II-5
2.4 Tarif jual Listrik	II-21
2.5 Pendapatan Listrik	II-21
2.6 Pendapatan Pupuk.....	II-22

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran <i>Economic Evaluation Report</i>	1
Lampiran <i>Cash Flow Analysis (CFC)</i>	4
Lampiran <i>Material & Stream (SR)</i>	5

Hak Cipta Dinding-Undang

1. Dilarang menyalin atau sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif



UIN SUSKA RIAU



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya mengakibatkan pembangunan dan kebutuhan konsumsi energi listrik juga mengalami peningkatan, tercatat bahwa laju pertumbuhan penduduk Indonesia pada tahun 2019 yaitu 1,31%. Pertumbuhan penduduk yang pesat telah meningkatkan permintaan pasokan energi. Sebab, permintaan pasokan energi juga akan terus meningkat dari waktu ke waktu. Namun, peningkatan permintaan energi tidak sesuai dengan pasokan energi yang tersedia saat ini [1].

Energi Indonesia sangat bergantung pada minyak bumi, batu bara dan sumber energi lainnya. Seperti kita ketahui bersama, minyak bumi, batu bara dan lainnya merupakan sumber energi fosil. Energi fosil adalah energi tak terbarukan. Meski bisa, itu akan memakan waktu lama. Tentunya jika energi fosil habis atau tidak ada lagi di bumi, hal ini akan menimbulkan masalah. Konsumsi energi final menurut jenis pada tahun 2018 masih didominasi oleh BBM, terutama pada sektor transportasi. Sektor-sektor juga tidak terlepas dari penggunaan BBM karena teknologinya cukup efisien. Pangsa kebutuhan BBM pada tahun 2018 adalah sebesar 39% dan di proyeksi terus mendominasi hingga tahun 2030 yaitu menjadi 42% walaupun akan turun kembali menjadi 38% pada tahun 2050. Demikian juga dengan kebutuhan gas pada tahun 2050 akan meningkat sebesar 3,8% setiap tahunnya dari tahun 2018. Untuk konsumsi batubara periode 2018-2050 diperkirakan akan naik dengan laju pertumbuhan 3,3% setiap tahunnya. Sedangkan untuk peranan BBN, LPG, dan Biomassa tidak begitu besar dalam memenuhi kebutuhan energi final nasional dan hal tersebut juga terjadi di Provinsi Riau [2].

Provinsi Riau memiliki 161 pulau di mana beberapa pulau terletak di Kabupaten Bengkalis [1]. Jika dilihat dari geografis, Kabupaten Bengkalis berbatasan dengan: di Utara dengan Selat Malaka; di Selatan dengan Kabupaten Siak dan Kabupaten Kepulauan Meranti; di Barat dengan Kabupaten Rokan Hilir, Kabupaten Rokan Hulu, dan Kota Dumai; di Timur dengan Selat Malaka dan Kabupaten Kepulauan Meranti. Kabupaten Bengkalis mempunyai 11 Kecamatan yang letaknya berada di 3 pulau yaitu: Kecamatan Mandau, Kecamatan Pinggir, Kecamatan Bathin Solapan, Kecamatan Talang Mandau, Kecamatan Bukit Batu, Kecamatan Siak Kecil, dan Kecamatan Bandar Laksamana berada di daratan Pulau Sumatra.



Kecamatan Rupat dan Kecamatan Rupat Utara berada di Pulau Rupat. Sedangkan untuk Kecamatan Bengkalis dan Kecamatan Bantan berada di Pulau Bengkalis [3].

Letak Kabupaten Bengkalis tergolong strategis di mana berada di bagian tepi jalur pelayaran internasional yang merupakan jalur sibuk di dunia, yaitu Selat Malaka. Selain itu daerah ini juga terletak di kawasan segi tiga pertumbuhan ekonomi 3 negara yaitu Indonesia - Malaysia - Singapura (IMS - GT) dan kawasan segitiga pertumbuhan ekonomi Indonesia - Malaysia - Thailand (IMT - GT). Untuk pelabuhan sendiri, Kabupaten Bengkalis memiliki tiga buah pelabuhan besar yang mana intensitas bongkar muat barang dan naik turun penumpang yang cukup tinggi di mana dua di antaranya berada di pulau Bengkalis yaitu Pelabuhan Bandar Sri Laksamana Kecamatan Bengkalis dan Pelabuhan Bandar Setia Raja di Selat Baru Kecamatan Bantan [4].

Pulau Bengkalis merupakan tempat di mana pusat pemerintahan daerah Kabupaten Bengkalis berada. Pulau Bengkalis terdiri atas 2 kecamatan yaitu Kecamatan Bengkalis dan Kecamatan Bantan yang mana kecamatan-kecamatan tersebut menempati posisi kedua dan ketiga berdasarkan kepadatan penduduk di Kabupaten Bengkalis. Kecamatan Bengkalis merupakan ibu kota administrasi dari Kabupaten Bengkalis yang mana kecamatan ini merupakan pusat pemerintahan daerah di Kabupaten Bengkalis. Kecamatan Bengkalis memiliki luas 514 km² dengan persentase 6,61% dari luas wilayah Kabupaten serta penduduk 82111 jiwa pada tahun 2019. Kecamatan Bantan sendiri daerah penunjang dan terdekat dengan ibukota kabupaten yang memiliki luas 424,4 km² dengan persentase 5,46% dari luas wilayah kabupaten dan penduduk 41472 jiwa pada 2019 [3].

Untuk kondisi listrik pulau Bengkalis saat ini memiliki beban puncak tertinggi pada PLTD Bengkalis 19,7 MW dengan surplus 3 MW setelah PLTD Bengkalis mendatangkan 7 unit mesin Diesel [5]. Namun penggunaan pembangkit dengan bahan bakar dari energi fosil sangat tidak berkelanjutan karena energi fosil dapat habis dan berdampak pada lingkungan sekitar. Pemanfaatan energi terbarukan di daerah pulau Bengkalis dapat di pertimbangkan demi keberlanjutan energi dan lingkungan.

Berdasarkan potensi energi terbarukannya, pulau bengkalis sendiri memiliki tujuh sungai di mana empat di antaranya berada di kecamatan Bengkalis dan tiga lainnya berada di kecamatan Bantan namun sungai – sungai tersebut sangat kecil potensinya untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) karena sungai –



sungai tersebut merupakan sungai pasang surut yang tidak memiliki arus [3]. Menurut data Dinas Pertanian dan Peternakan Kabupaten Bengkalis, Pulau Bengkalis merupakan produsen tanaman nanas terbesar 94,22% dari total luas panen tanaman nanas di Kabupaten Bengkalis yaitu 34899 kuintal pada tahun 2014 [6]. Limbah kulit nanas yang berasal dari Industri pengolahan nanas sangat berpotensi untuk dijadikan bahan baku pengolahan bioetanol karena kandungan glukosa yang sangat tinggi. Namun industri pengolahan nanas di pulau Bengkalis masih skala industri kecil menengah, hal ini mengakibatkan potensi nanas tidak bisa dimanfaatkan secara maksimal [4]. Di bagian laut Pulau Bengkalis berbatasan langsung dengan Selat Malaka yang dapat menjadi sumber pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL), namun potensinya tergolong masih kecil, pada kondisi gelombang laut minimum hanya dapat membangkitkan daya sebesar 246 watt dan pada kondisi maksimum sebesar 15745 watt yang menjadikannya sebagai perairan di Indonesia dengan potensi gelombang laut terkecil dibandingkan dengan 30 perairan lainnya yang diteliti [7]. Sedangkan untuk sumber energi lainnya seperti angin dan surya di wilayah Kabupaten Bengkalis bahkan dikategorikan sebagai wilayah yang tidak berpotensi untuk dijadikan pembangkit listrik [8].

Tingkat kepadatan penduduk yang cukup tinggi pada pulau Bengkalis akan bermasalah dengan produktivitas timbulan sampah dari aktivitas manusia sehari – hari yang bersumber dari sektor rumah tangga, perkotaan, tempat umum, dan sampah pasar. Sampah adalah sumber daya yang dapat mudah diperoleh karena sampah tergolong barang yang dengan mudah dibuang tiap harinya bahkan sebagian orang rela untuk membayar jasa pembuangan sampah agar tidak mengganggu rumah dan lingkungannya. Menurut catatan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) jumlah atau volume sampah yang dihasilkan di Pulau Bengkalis setiap harinya dapat mencapai sekitar 27 ton per harinya di mana 57,01% dari triwulan sampah adalah sampah organik atau 15,4 ton setiap harinya, sedangkan Pulau Bengkalis hanya memiliki satu unit tempat pembuangan sampah akhir (TPA) yaitu TPA Bantan yang terletak di Kecamatan Bantan setiap harinya hanya dapat mengelola sampah sebesar 20 Ton yang akan berakibat pada penumpukan sampah di TPA. TPA Bantan mempunyai luas lahan sekitar 3,5 Hektar dan menggunakan sistem operasi yaitu *sanitary landfill* tanpa adanya pengembangan teknologi yang berakibat pada tidak terurainya sampah dengan baik sehingga akan menimbulkan permasalahan di sekitar TPA [9]



Berdasarkan jumlah penduduknya pulau Bengkalis yaitu sebesar 123.583 jiwa 2019, maka di kategorikan sebagai Kota sedang dengan rata-rata produksi sampah 0,7 kg/orang/hari. Hal ini berpotensi mengakibatkan pulau Bengkalis menghasilkan sampah sebesar 86,5 ton/hari di mana 49,3 ton/hari adalah sampah organik di mana sampah organik berpotensi dijadikan bahan baku dalam pembangkitan listrik.

Undang-undang No. 18 tahun 2008 tentang pengolahan sampah, menjelaskan bahwa pemerintah daerah memiliki kewajiban untuk melakukan penelitian, pengembangan teknologi pengurangan dan penanganan sampah, memfasilitasi serta mendorong dan memfasilitasi pengembangan pemanfaatan hasil pengolahan sampah itu sendiri. Adapun Undang-undang No. 18 tahun 2008 juga didukung dengan adanya permen pekerjaan umum nomor 21/PRT/M/2006 tentang kebijakan dan strategi Nasional pengembangan sistem pengolahan sampah yang ramah lingkungan [10]

Jumlah sampah yang dihasilkan meningkat seiring dengan penambahan penduduk. Selama ini pengolahan sampah belum dilakukan secara maksimal. Sampah organik berpotensi menghasilkan biomassa. Salah satu gas yang dapat digunakan sebagai energi adalah gas metana (CH_4). Biogas merupakan produk *green technology* dan saat ini sedang dikembangkan sebagai sumber energi alternatif. Hal ini untuk mendukung konsep kota berkelanjutan di Indonesia, di mana model kebijakan kota adalah mengurangi, mendaur ulang, dan menggunakan kembali barang konsumsi. Terdapat permasalahan sampah di perkotaan, dan dibutuhkan teknologi yang dapat dengan cepat diterapkan untuk mengatasi permasalahan lingkungan [11].

Salah satu pemanfaatan sampah adalah dengan menjadikannya sebagai biogas. Biogas merupakan gas yang dihasilkan saat bahan organik mengalami fermentasi pada digester yang dilakukan oleh bakteri dalam kondisi anaerob (tanpa udara). Reaktor yang digunakan untuk menghasilkan biogas biasanya disebut dengan digester atau bio-digester, karena di sinilah bakteri dapat tumbuh dengan cara mencerna bahan organik. Agar dapat dihasilkan biogas dalam jumlah dan kualitas tertentu maka digester harus disesuaikan dengan suhu, kelembaban dan keasaman agar bakteri dapat berkembang biak. Biogas sendiri terdiri dari gas metana dan (CH_4), gas CO_2 dan gas lainnya [12].

Dalam aplikasinya, biogas digunakan sebagai gas alternatif untuk pemanasan ataupun untuk menghasilkan energi listrik. Jumlah metana merupakan hal yang menentukan kekuatan biogas untuk di jadikan sumber energi. Di mana Setiap 1 m^3 metana setara dengan 10 kWh atau 0,6 l *fuel Oil* untuk dapat menghasilkan jumlah listrik yang sama di mana



jumlah tersebut setara dengan 60 - 100 watt lampu selama 6 jam penerangan [13]. Sedangkan untuk nilai jual tenaga listrik dari PLTBg sesuai ketentuan pemerintah, untuk pulau Sumatra yaitu Rp 1.207,5/kWh jika terinterkoneksi pada jaringan tegangan menengah atau Rp 4.640/kWh jika terinterkoneksi pada jaringan tegangan rendah [14].

Berdasarkan masalah yang dimiliki oleh pulau Bengkalis, keberadaan pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) bisa jadi solusi untuk mengatasi masalah yang ada. Dalam penelitian ini penulis mencoba untuk memperluas dan mengkaji lebih dalam tentang produk biogas yang didapat dari potensi sampah Pulau Bengkalis saat ini, penulis akan menganalisis pembangkitan listrik tenaga biogas dari potensi sampah yang ada menggunakan aplikasi *SuperPro Designer*. Di mana aplikasi tersebut dapat memberikan hasil simulasi baik berupa teknis, ekonomis, maupun dampak lingkungan yang ditimbulkan dari pembangkit listrik tenaga biogas tersebut.

Berdasarkan permasalahan Pulau Bengkalis yang telah dijabarkan sebelumnya, peneliti juga akan menganalisis dari aspek ekonomis untuk dijadikan bahan evaluasi apakah layak atau tidaknya proyek yang dibahas dalam penelitian ini untuk direalisasikan. Adapun aspek ekonomis yang akan di analisis yaitu *Net Present Value (NPV)* yang berguna untuk menghitung besarnya keuntungan yang akan diperoleh agar dapat mengetahui tingkat pengembalian *Internal Rate of Return (IRR)* dari modal dan untuk mengembalikan seluruh modal investasi *Payback Periode (PBP)* yang telah digunakan sebelumnya sebagai parameter analisis kelayakan finansial. Untuk menganalisis kelayakan finansial, pada penelitian ini digunakan juga *Software SuperPro Designer* untuk simulasi ekonomis dari parameter yang telah ditentukan.

Adapun penelitian perancangan pembangkit listrik tenaga biogas dirasa perlu dilakukan karena potensi bahan baku berupa sampah organik yang tinggi dan selalu meningkat setiap tahunnya. Maka dari itu penulis perlu melaksanakan penelitian yang berjudul “**Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) Dari Sampah Organik Kabupaten Bengkalis**”

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, rumusan masalah pada penelitian ini adalah dengan mengolah sampah yang ada untuk dijadikan Pembangkit



Listrik Tenaga Biogas dengan memanfaatkan sampah organik di Pulau Bengkalis layak untuk dianalisis dari aspek teknis maupun ekonomisnya, sehingga pembangkitan energi listrik dari sampah yang dihasilkan dari penduduk dapat menyelesaikan permasalahan sampah.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui dan menganalisis potensi energi listrik yang terkandung dari pengolahan sampah yang ada di Kabupaten Bengkalis.
2. Mengetahui dan menganalisis aspek teknis pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) dari sampah organik.
3. Mengetahui dan menganalisis aspek ekonomis pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) dari sampah organik.

1.4 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang menjadi ruang lingkup dalam penelitian ini antara lain:

1. Sampah yang akan dimanfaatkan sebagai bahan baku utama PLTBg hanya yang berasal dari produksi sampah di Kecamatan Bengkalis dan Kecamatan Bantan
2. Proses analisis pengolahan sampah untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan *Software SuperPro Designer*.

1.5 Manfaat Penelitian

Untuk manfaat yang di dapat dengan dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Bagi peneliti sendiri yaitu dapat menerapkan pengetahuan yang telah di peroleh dan juga melatih kemampuan menganalisis atas permasalahan yang ada.
2. Rekomendasi yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi berbagai pihak termasuk Pemerintah Kabupaten

Bengkalis dan Investor bagi keperluan pengembangan dan pembangunan lebih lanjut.

Bagi pihak lainnya hasil penelitian ini dapat menjadi penambahan wawasan dan pengetahuan sebagai usaha perluasan ilmu pengetahuan teknologi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan sebuah studi literatur yang merupakan metode pencarian berbagai referensi relevan yang berkaitan dengan masalah pada penelitian ini baik bersumber dari buku maupun artikel dan jurnal. Penelitian mengenai pembangkit listrik tenaga biogas ini telah dibahas dan dilakukan beberapa universitas yang ada di Indonesia maupun universitas luar dari Indonesia.

Penelitian yang berjudul “ *Simulation of Anaerobic Digestion for Biogas production from Food Waste Using SuperPro Designer* ” melakukan simulasi pencernaan anaerob untuk menghasilkan biogas dari limbah padat kota dengan menggunakan Perangkat Lunak SuperPro Designer . Reaktor stoikiometri dan reaktor digester anaerob digunakan dalam simulasi ini dimana reaksi hidrolisis, asidogenesis, asidogenesis, dan metanogenesis ikut dipertimbangkan. Suhu yang digunakan adalah 55 ° C dan tekanannya 1 atm. Simulasi difokuskan pada limbah makanan dengan komposisi dari 55% karbohidrat, 26% protein, dan 19% lemak. Hasil yang diperoleh dari simulasi menunjukkan bahwa persentase metana dan karbon dioksida masing-masing adalah 56,78% dan 24,51%. Hasil ini sebanding dengan tipikal komposisi biogas di mana persentase karbon dioksida dan metana adalah 25% -50% dan 50% - 75% masing-masing. Selain itu, peningkatan waktu retensi hidrolik (HRT) dan kadar air meningkatkan komposisi metana dalam biogas, di mana biogas bersih setelah proses pemurnian mengandung 98,7% metana. Maka dari itu pemanfaatan sampah organik dinilai dapat menghasilkan biogas lebih bersih dan ekonomis [15].

Penelitian tentang analisis pemanfaatan sumber energi dari pengolahan metode *landfill* di TPA Muara fajar Pekanbaru dimana pada penelitian ini dilakukan pengkajian potensi pemanfaatan sampah di TPA muara fajar dengan hasil 6.806 kWh, gas metana yang dihasilkan diperoleh dari dengan *landfill gas emissions model* (landGEM) dan penelitian ini menyatakan bahwa sampah di TPA muara fajar berpotensi untuk dapat dimanfaatkan sebagaibahan baku pembangkit listrik tenaga sampah baik dengan menggunakan metode *thermal* maupun dengan metode *landfill*. Namun metode *landfill* ini tidak berkelanjutan dan menimbulkan masalah lingkungan. Kerusakan tanah, air tanah, dan air permukaan sekitar air lindi, tentu akan membahayakan kesehatan masyarakat, gambaran yang paling mendasar



dari penerapan *landfill* ini ialah kebutuhan lahan yang cukup luas untuk setiap volume sampah yang akan diolah [16].

Penelitian lain tentang studi kelayakan ekonomi pembangkit skala kecil dari sampah pasar, dimana setiap hari 493 ton limbah yang mengandung 67% bahan organik yang dihasilkan di Kota El Alto di Bolivia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kelayakan tekno-ekonomi dari pabrik biogas skala kecil untuk mengolah limbah pasar organik di Kota El Alto. Untuk tujuan ini, metode analisis multi-kriteria dilakukan untuk mengidentifikasi teknologi yang cocok. Digester berbentuk garasi terpilih sebagai teknologi yang paling tepat untuk kondisi Kota El Alto. Dengan menerapkan teknologi ini, 1,8 GWh listrik dan 2.340 ton pupuk organik dapat diproduksi setiap tahunnya. Selanjutnya, analisis ekonomi dua metode dilakukan. *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return*, waktu pengembalian modal, biaya *Levelized Cost of Electricity* (LCOE) dan analisis sensitivitas dievaluasi. Pabrik biogas menghasilkan ekonomis dalam kedua kasus. Namun, perkiraan LCOE (0,17-0,26 USD / kWh) yang sangat tinggi dibandingkan dengan LCOE dari gas alam di Bolivia (0,026 USD / kWh). Studi ini juga melakukan analisis penghematan emisi. Sebanyak 900 ton CO₂/tahun dapat dihindari untuk memproduksi listrik dari biogas. Selain itu, manfaat sosial juga bisa dihasilkan seperti kesempatan kerja [17].

Dalam penelitian yang berjudul Analisis keekonomian pembangkit listrik tenaga biogas dari POME dengan *contious stirred tank reactor* (CSRT) memanfaatkan Secara ekonomi layak untuk menggunakan bio-digester CSTR untuk mengubah POME tanaman kelapa sawit menjadi listrik. Nilai IRR indeks kelayakan finansial adalah 11,44%, lebih tinggi dari WACC 10,86%. Sedangkan *payback period* adalah 7 tahun 11 bulan, NPV sebesar Rp1.103.209.098, dan nilai PI 2,64. Nilai PI yang diperoleh dari perhitungan ini lebih besar dari 1, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengembangan PLTBg berpotensi untuk menghasilkan keuntungan. Namun pengoperasian PLTBg berbasis POME dapat menimbulkan berbagai pencemaran yaitu pencemaran air, udara, dan suara. Pencemaran air dapat terjadi karena air limbah dapat mengkontaminasi air permukaan atau air tanah. Pencemaran pada udara seperti bau, polutan dan debu yang mana harus diantisipasi dengan pemasangan peralatan pemurnian udara untuk dapat melindungi lingkungan dari polusi berbahaya tersebut. Sedangkan pencemaran suara terjadi karena diakibatkan oleh kebisingan dari *gas engine* untuk PLTBg [18].

Penelitian berjudul *Simulation study for economic analysis of biogas prduction from agricultural Biomass* yang melakukan studi simulasi produksi biogas dengan bahan



baku limbah buah dan sayuran pada pada anaerob digester yang dilakukan dengan menggunakan SuperPro Designer. Anaerob digester memiliki waktu retensi hidrolis 25 d dan dioperasikan pada temperatur 35°C yang berada pada keadaan mesofilik. Dari simulasi tersebut dapat diamati bahwa total 936,76 m³.h⁻¹ biogas dapat dihasilkan pada laju tingkat bahan baku sebesar 83,79 m³.h⁻¹. pengurangan COD lebih dari 60% dimana membuktikan bahwa sistem ini efisien untuk pengolahan limbah karena melebihi kisaran yang diharapkan dari pengurangan COD 40% - 60%. Unit pemurnian yang merupakan kolom penyerapan terbukti mampu menghilangkan 99% karbon dioksida dan hidrogen sulfat dimana hal tersebut dapat memurnikan biogas hingga 95% metana berdasarkan massa dimana akan lebih banyak pilihan untuk pemanfaatan biogas. Untuk analisis biayanya sendiri, pabrik biogas ini layak secara ekonomi. Total investasi modal berlebih dari RM 25 juta yang termasuk modal kerja sebesar RM 2 juta mungkin akan menjadi hambatan, namun dengan margin keuntungan 11% dan tingkat pengembalian 12% mungkin cukup menguntungkan bagi perusahaan setelah 8,2 tahun waktu pengembalian [19].

Penelitian lain tentang “ *Comparative Economic Analysis of Gas Turbine-Based Power Generator and Combined Heat and Power System Using Biogas Fuel* ” yang melakukan penilaian ekonomis berbasis turbin gas 5 MW CHP (*combined heat and power*) dan CC(*combined cycle*) sistem yang menggunakan biogas sebagai bahan bakar yang dilakukan berdasarkan simulasi kinerja secara rinci. Hasilnya menunjukkan bahwa dibandingkan dengan sistem turbin gas saja, sistem CHP ternyata jauh meningkatkan ekonomi proyek di mana hasil analisis ekonomi menunjukkan ketergantungan yang kuat dari ekonomi proyek pada penjualan panas. dengan asumsi harga tetap dan biaya, bahkan kasus permintaan panas yang lebih rendah CHP (kasus A) dengan pasokan panas tahunan yang 54% dari pasokan listrik menunjukkan penurunan 30% pada periode *payback*, dan peningkatan 61% dalam total NPV setelah 20 tahun dibandingkan dengan kasus dengan penjualan listrik turbin gas saja. Kasus CHP dengan 2,5 kali lebih panas pasokan (kasus B) dari kasus A menunjukkan waktu pengembalian 31% lebih pendek dan 55% dari total yang lebih tinggi NPV dibandingkan dengan kasus A. Sistem CC dapat menyediakan 22% listrik lebih dari turbin gas, dan diprediksi akan memiliki periode *payback* 13% lebih pendek dan jumlah NPV 34% lebih besar dari kasus turbin-satunya gas, tetapi ekonomi yang lebih miskin dari dua kasus lain CHP diadopsi dalam penelitian ini. Dengan permintaan yang panas tahunan lebih dari 30% dari pasokan listrik tahunan, CHP *system* lebih ekonomis daripada sistem siklus gabungan dari segi total NPV. Dengan asumsi peningkatan listrik dan



panas harga, ekonomi ditingkatkan di semua sistem diamati. Perbaikan persentase payback period dan NPV yang relatif lebih besar dalam sistem listrik saja (GT dan CC) dari dalam sistem CHP. Namun, total NPV dari kasus CHP masih lebih besar dibandingkan dengan sistem CC [20].

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan terdapat kekurangan dan kelebihan masing-masing. Maka dari itu akan dilakukan penelitian dengan cara menggabungkan beberapa metode terbaik dari penelitian terdahulu serta mempertimbangkan kondisi lingkungan di Pulau Bengkalis agar hasil yang lebih baik. Adapun hal-hal yang akan dipakai serta digabungkan dalam penelitian ini ialah tentang pembangkit listrik tenaga biogas dari bahan baku sampah organik di Pulau Bengkalis dengan memanfaatkan teknologi *anaerobic digestion*. Penelitian ini akan menggunakan simulasi dari software SuperPro designer untuk tahapan analisis teknis dan ekonomisnya, hal ini dilakukan agar analisis yang dilakukan lebih detail dan efisien. Di dalam simulasi juga dicantumkan Unit CHP (*combined heat and power*) sebagai Unit pembangkitan tenaga listrik agar potensi energi baik berupa listrik dan panas dapat dimanfaatkan secara optimal. Tujuan utama yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu nilai kelayakan pembangkit tersebut yang dapat dilihat dari beberapa aspek teknis maupun ekonomis pembangkit listrik tenaga biogas tersebut.

2.2. Landasan Teori

Biaya dan keamanan energi terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) serta polutan lain dari saran produksi energi yang ada merupakan dua masalah utama dalam beberapa pengembangan teknologi pada sumber energi alternatif. Penggunaan biomassa untuk menghasilkan energi adalah salah satu alternatif yang belakangan ini menarik perhatian seluruh dunia sebagai sumber energi yang bersih dan berkelanjutan. Masalah lain yang juga timbul adalah pembuangan sampah kota yang kurang efisien, karena bagian dari biodegradasi dari sampah kota menyebabkan emisi metana yang tidak terkendali ketika limbah tersebut dibuang tanpa dilakukannya pengolahan. Namun, karena urbanisasi di perkotaan begitu pesat sehingga kapasitas Tempat pembuangan Sampah (TPA) menjadi tidak memadai.

Limbah yang dapat ter biodegradasi diakui bisa menjadi bahan baku untuk menghasilkan energi yang bermanfaat serta dapat meminimalisasi limbah perkotaan dalam waktu bersamaan. Oleh karena itu, pabrik pengolahan limbah untuk menghasilkan *beofuel* dan listrik sudah banyak dilakukan di banyak negara.



2.2.1 Sampah

Sampah dapat diartikan sebagai sampah organik maupun sampah anorganik yang dibuang oleh masyarakat dari berbagai tempat di daerah tersebut di mana sumber sampah tersebut umumnya berasal dari perumahan dan pasar.

2.2.1.1 Prediksi Jumlah Sampah

Prediksi dilakukan untuk mengetahui jumlah sampah pada tahun yang akan datang. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan memprediksi jumlah penduduk pada tahun yang akan datang dengan berpedoman pada jumlah penduduk dan pertumbuhan penduduk pada tahun sebelumnya. Prediksi jumlah penduduk ini menggunakan metode persamaan geometris, yaitu:

$$P_n = P_a (1 + r)^n \quad [21] \quad (2.1)$$

P_n = Total penduduk pada tahun n proyeksi

P_a = Total penduduk pada tahun awal operasi

r = Pertumbuhan penduduk rata-rata per tahun (%)

n = Selang waktu proyeksi (tahun)

Prediksi jumlah sampah yang akan datang berpedoman pada jumlah sampah pada tahun awal operasi, untuk itu di gunakan persamaan:

$$\text{Timbunan sampah 2024} = \text{Jumlah Penduduk 2024} \times \text{Berat Sampah} \quad (2.2)$$

Untuk prediksi jumlah sampah organik akan didapat dari persentase sampah organik pada timbunan sampah di kali dengan timbunan sampah pada tahun awal operasi, persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat sampah organik/hari} = TS_{2024} \times \text{persentase sampah organik} \quad (2.3)$$

2.2.2 Sampah Organik

Sampah organik mengandung berbagai macam zat seperti karbohidrat, protein, lemak, mineral, vitamin, dll. Secara alamiah, zat ini mudah terurai oleh pengaruh fisik dan kimiawi, enzim yang terkandung di dalam limbah itu sendiri, dan enzim yang dilepaskan oleh organisme yang hidup di limbah tersebut. Pembusukan sampah organik yang tidak terkendali biasanya terjadi dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen). Melalui proses ini, dihasilkan gas-gas berbau tajam (seperti H_2S dan CH_4), sehingga proses ini disebut proses peluruhan. Dari proses ini juga akan dihasilkan lindi (leachate) yang akan menyebabkan pencemaran air tanah dan air permukaan. Limbah yang sudah membusuk juga menjadi



sumber penyakit seperti bakteri, virus, protozoa dan cacing [14]. Sampah juga dapat menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, hal ini terjadi pada timbunan sampah yang tidak diolah sehingga melepaskan metana / metana (CH_4). Manusia hampir selalu menghasilkan limbah dalam aktivitasnya. Sampah memiliki kapasitas emisi gas rumah kaca yang besar yaitu gas metana (CH_4). Potensi kerusakan gas CH_4 terhadap pemanasan global adalah 20 kali lipat dari gas CO_2 .

Komposisi sampah organik kabupaten Bengkalis Bengkalis adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1. Komposisi Sampah kabupaten Bengkalis 2018 [9]

Jenis Sampah	Kandungan (%)
Sampah Organik	57,01
Sampah Anorganik	42,99

2.2.3 Biogas

Biogas merupakan suatu gas yang dapat dengan mudah terbakar yang mana dihasilkan dari fermentasi zat organik oleh bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi tertutup). Gas ini biasa digunakan untuk pemanas, memasak, pembangkit listrik dan bahan bakar transportasi. Proses pembentukan biogas dilakukan melalui fermentasi. Dalam biogas digester, bakteri anaerob membentuk gas metana dalam kondisi anaerob, sehingga menghasilkan gas metana (CH_4) dan gas karbondioksida (CO_2) yang volumenya lebih besar dari hidrogen (H_2) dan nitrogen (N_2) dan asam sulfat (H_2S). [22]

2.2.4 Anaerobic Digestion

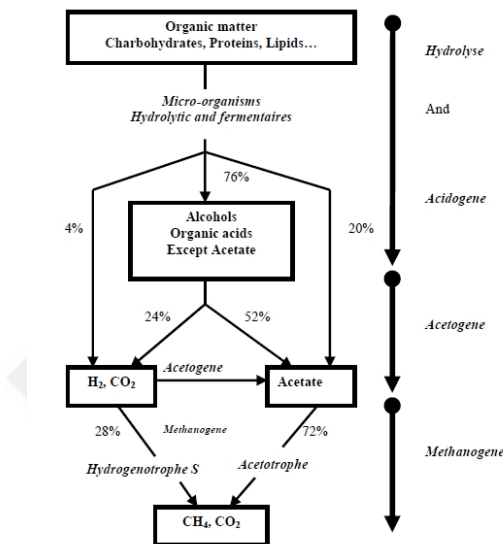
Biogas adalah proses menghasilkan biogas dari bahan organik dengan bantuan bakteri. Proses degradasi bahan organik tidak melibatkan oksigen, atau disebut destruksi anaerobik. Sebagian besar gas yang dihasilkan (50% lebih) adalah metana. Dengan bantuan kedua bakteri tersebut, bahan organik yang terkumpul di tangki pencernaan (reaktor) akan dibagi menjadi dua tahap. Pada tahap pertama, dengan bantuan bakteri pembentuk asam, bahan organik akan terurai menjadi asam lemah. Bakteri ini akan mengurai limbah pada tingkat hidrolisis dan pengasaman. Hidrolisis merupakan pemecahan senyawa kompleks / senyawa rantai panjang (seperti lemak, protein dan karbohidrat) menjadi senyawa sederhana. Pengasaman adalah asam yang terbentuk dari senyawa sederhana. Setelah bahan organik



menjadi asam, tahap kedua dari proses pencernaan anaerobik adalah pembentukan gas metan dengan bantuan bakteri pembentuk metana (seperti *Methanobacter*, *Methanobacter*, dan *Methanobacter*). Proses penguraian anaerobik telah berhasil diterapkan di berbagai bidang dengan kemampuan mengolah sampah menjadi produk yang lebih bernilai. [23].

2.2.4.1 Proses Pada Anaerobic Digestion

Pencernaan anaerob adalah suatu proses biologis yang digunakan untuk bngbatan dan valorisasi terhadap limbah organik. Umumnya proses pada *anaerobic digestion* melewati empat tahapan yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Proses ini terlihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1. Diagram rantai metanogen dan berbagai tahapannya.

A. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan tahapan pertama dalam *anaerobic digestion* dimana zat organik partikular kompleks (protein, polisakarida, lipid, selulosa ... dll) dipecah menjadi senyawa yang mudah larut (asam amonia, asam lemak, glikol ...dll). tahapan ini merupakan tahapan yang signifikan sebelum proses fermentasi karena bakteri fermentatif tidak dapat menyerap sel polimer organik kompleks secara langsung. Enzim hidrolitik termasuk *selulase*, *cellobiase*, *xilanase* dan *amilase* di dekomposisi polisakarida gula, protease untuk degradasi protein dalam asam amino, dan lipid untuk degradasi lipid gliserol dan asam lemak dengan rantai panjang. [24]

B. Asidogenesis



Tahapan pada asidogenesis terdiri dari degradasi komponen yang dihasilkan dari tahapan hidrolisis dengan bantuan bakteri asidogenik dan fermentasi. Tahapan ini mengarah pada pembentukan sebuah campuran dari asam organik, asam lemak volatil, alkohol, hidrogen, karbon dioksida, amoniak, dll [24].

C. Asetogenesis

Tahapan pada asetogenesis memungkinkan transformasi asam yang dihasilkan dari tahapan asidogenesis menjadi asetat dan karbon dioksida yang dilakukan oleh bakteri asetogenik. Langkah ini dilakukan oleh berbagai jenis bakteri. [24]

D. Metanogenesis

Tahapan metanogenesis merupakan tahapan akhir dari proses *anaerobik digestion* di mana pada tahapan ini dilakukan transformasi asetat, hidrogen, dan karbon dioksida menjadi metana. Selama tahapan ini, produk-produk fermentasi seperti asetat, H_2 / CO_2 akan dikonversi menjadi CH_4 dan CO_2 oleh bakteri metanogenik. Bakteri metanogenik dapat tumbuh secara langsung pada H_2 / CO_2 , asetat dan semua senyawa lainnya dengan hanya satu karbon seperti format, metanol, dan metilamin. Tahapan metanogenesis ini sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi digester seperti suhu, laju pemuatan hidrolik, laju pemuatan organik dan komposisi media influen. [24]

2.2.4.2 Parameter Proses Anaerobic Digestion

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada tahapan metanogenesis sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi digester. Pada bagian ini akan dijelaskan parameter-parameter penentu yang mempengaruhi kondisi pada proses *anaerobik digestion*.

A. Temperatur

Secara umum pencernaan anaerobik dapat dioperasikan pada 3 range temperatur yaitu psikrofilik di bawah $28^\circ C$, mesofilik pada $29^\circ C - 45^\circ C$ dan termofilik pada temperatur $50^\circ C$ sampai $56^\circ C$. Pada dasarnya kondisi mesofilik produksi biogas pada destruksi anaerob lebih stabil dibandingkan kondisi termofilik. Temperatur akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri dalam proses produksi biogas anaerob. Selama proses produksi biogas anaerob akan terjadi pencernaan anaerob pada temperatur $5^\circ C$ sampai dengan $55^\circ C$, namun temperatur optimum untuk proses produksi biogas adalah $35^\circ C$ sampai $37^\circ C$. Jika penggunaan temperatur dibawah kondisi mesofilik diterapkan maka



dimungkinkan terjadinya penurunan terhadap hasil (*yield*) dan dapat menghambat proses pembentukan dari biogas [25].

B. Tingkat Keasaman

Tingkat keasaman atau biasa disebut dengan pH (*Power of Hydrogen*) sangat berpengaruh pada proses pencernaan anaerobik, apabila kadarnya terlalu asam maupun terlalu basa maka akan berpengaruh secara langsung pada kinerja dari mikroorganisme. pH dalam digester harus dijaga pada kisaran 6,8 – 7 karena pH optimal pada pencernaan anaerobik adalah kurang dari 7, sedangkan di dalam proses *anaerobic digestion* kadar pH berlangsung pada kisaran 6 sampai dengan 8 [26].

C. Nutrisi dan Zat Penghambat Bakteri Anaerobik

Di dalam reaksi anaerob, bakteri anaerob membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi seperti mineral-mineral yang mengandung Nitrogen, Magnesium, Sodium, Fosfor, kalsium dan Kobalt.

Tabel 2.2. Kebutuhan Nutrisi dalam Digester [29]

Bahan	Jumlah Kebutuhan (mg/gasetat)
NH ₄	3,3
S	0,33
Ca	0,13
Mg	0,018
Fe	0,023
Co	0,004
Zn	0,02

Zat penghambat adalah zat yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme, sehingga mempengaruhi jumlah biogas yang dihasilkan selama proses pencernaan anaerobik. Zat tersebut dapat membunuh mikroorganisme yang berperan sebagai pengurai bahan organik dalam produksi biogas. Oleh karena itu, air yang digunakan dalam proses produksi biogas perlu dilakukan pengecekan terlebih dahulu untuk memastikan tidak mengandung polutan. Ini digunakan untuk mendorong proses produksi biogas untuk melindungi bakteri yang dibutuhkan dalam proses pencernaan anaerobik. [25]. Kandungan nutrisi yang terlalu banyak pada digester akan mengakibatkan nutrisi tersebut menjadi racun



(toxic). Kandungan kimia mineral-mineral yang diperbolehkan dalam proses *anaerobic digestion* sampah organik ditampilkan pada tabel di bawah, yaitu:

Tabel 2.3. Tingkat Konsentrasi Nutrisi yang Menjadi Zat Penghambat Pertumbuhan Pertumbuhan Nutrisi [29]

nutrisi Yang Dapat Menjadi Zat Penghambat Pertumbuhan Bakteri	Konsentrasi
Sulfat (SO_4^{2-})	5,000 ppm
Sodium Klorida atau garam (NaCl)	40,000 ppm
Cyanide Below	25 mg/l
Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)	40 ppm
Ammonia	3000 mg/l
Nitrat (dihitung sebagai N)	0.05 mg/l
Tembaga (Cu^{+2})	100 mg/l
Khrom (Cr^{+3})	200 mg/l
Nikel (Ni^{+3})	200 - 500 mg/l
Sodium (Na^{+})	3,500 - 5,500 mg/l
Potasium (K^{+})	2,500 - 4,500 mg/l
Kalsium (Ca^{+2})	2,500 – 4,500 mg/l
Magnesium (Mg^{+2})	1,000 – 1,500 mg/ l
Mangan (Mn^{+2})	Diatas 1,500 mg/l

Polutan-polutan juga dapat menyebabkan produksi biogas menjadi terhambat atau berhenti sama sekali, pelutan tersebut seperti amonia, antibiotik, pestisida, detergen, dan logam-logam berat seperti *chromium*, *Nickel* dan *zinc*.

Pada proses *anaerobic digestion*, karakteristik mikroba pada setiap tahapan proses memiliki jenis-jenis yang berbeda. Bahan baku organik yang dicerna dalam digester di



dominasi oleh mikroba heterotrophic yang berada pada proses hidrolisis dan abiogenesis dan berbagai macam jenis mikroba consortium beraktifitas pada proses ketogenesis dan pada proses *methanogenesis* didominasi oleh mikroba *archaeae* [27]

Tabel 2.4. Mikroba dari Setiap proses pada Anaerobic Digestion [27]

Proses Pada <i>Anaerobic Digestion</i>	Mikroba yang Teridentifikasi
<i>Hydrolysis dan Acidogenesis</i>	<i>Fungi Trichoderma, Thermomonospora, Ralstonia Dan Shewallena, Penicillium, Gracilibacter thermotolerans dan Thermomonas dll.</i>
<i>Acetogenesis</i>	<i>Phylum Firmicutes (Moorella Thermoacetica, Spirochaetes, Acidobacteria dll).</i>
<i>Methanogenesis</i>	<i>Archaea (Methanobacteriales, Methanococcales, Methanomicrobiales, dll).</i>

D. Rasio Karbon Nitrogen

Pemberian fraksi organik dengan komposisi pakan yang sesuai ke dalam reaktor akan sangat berpengaruh ada hasil produksi biogas. Ketidakseimbangan yang disebabkan oleh muatan organik yang berlebihan akan mengakibatkan penumpukan produk asam antara yang menghambat metanogen. Kompleksitas bahan organik penyusun komponen organik sampah perkotaan menyebabkan sulitnya prediksi perubahan yang diharapkan pada desain reaktor biogas akibat kemungkinan fluktuasi komposisi bahan bakunya. Selain itu, bagian organik dari sampah kota yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas terdiri dari limbah campuran buah dan sayuran dengan kandungan nitrit (N) yang rendah, sehingga rasio C / N bahan organik relatif lebih tinggi dari nilai ideal untuk produksi biogas. Rasio C / N optimal pada digester anaerobik menunjukkan bahwa hubungan antara kandungan karbon dan nitrogen dalam bahan organik adalah 20-30. [28]



Tabel 2.5. Rasio Karbon Nitrogen Bahan Organik [29]

Bahan Organik	Rasio C/N
Kotoran Kambing	12
Kotoran sapi	24
Kotoran manusia	8
Sampah buah-buahan dan sayuran (organik)	25
Sisa gergajian	Di atas 200
Jerami/Rumput	60-90

E. *Total Solid (TS) dan Volatile Solid (VS)*

Total solid (TS) dan Volatile solid (VS) diperlukan untuk menghasilkan informasi tentang hasil biogas yang mungkin bisa dihasilkan dan efisiensi prosesnya. TS digunakan untuk menggambarkan kekeringan dari substrat dan dinyatakan dalam persentase dari total berat dalam gram per kilogram. Untuk mengetahui TS bahan organik, jumlah substrat ditimbang dan dikeringkan pada suhu 105° sampai kadar air nol. Berat setelah pengeringan dibagi dengan berat asal.

F. *Pengadukan Bahan Baku*

Pada sistem yang menggunakan bahan baku yang sulit dicerna oleh mikroorganisme pengurai (misalnya jerami yang mengandung senyawa lignin), fungsi agitasi tersebut tentu saja untuk memecah kulit terluar pada permukaan cairan. Diperlukan penguraian lapisan cangkang untuk mengurangi ketahanan terhadap laju produksi biogas. Namun bahan yang berasal dari limbah buah dan sayur, terutama bahan yang telah dijadikan bubuk, sebenarnya tidak perlu diaduk kuat. Bahan serbuk dapat diaduk pada awal pencampuran di digester agar lebih seragam dan tidak mengapung di permukaan air sebagai pelarut. [25].

G. *Durasi Digestifikasi*

Durasi digestifikasi merupakan waktu yang dibutuhkan dalam proses pencernaan dalam digester dari awal bahan organik masuk hingga pembentukan biogas. Penentuan durasi digestifikasi dipengaruhi oleh suhu, jenis bahan baku dan perlakuan terhadap bahan baku sebelum proses *digesting*. Pada kondisi *mesophilic*, proses pencernaan anaerob membutuhkan waktu retensi 25-35 hari. Pada suhu *psychrophilic* suhu 10°-18° membutuhkan waktu 30-53 dan pada kondisi *thermofilic* suhu 50°-70° membutuhkan waktu



sekitar 11-17 hari. Durasi digestifikasi yang pendek akan mengurangi volume biogas yang di dapat dan durasi yang panjang mengakibatkan biogas yang di dapat sudah mulai berkurang dan dapat meningkatkan biaya investasi. [29]

H. Tekanan

Tekanan di dalam digester tergolong parameter penting yang harus diperhatikan, Semakin tinggi tekanan pada digester maka semakin sedikit biogas yang dihasilkan dalam digester, terutama pada saat proses hidrolisis dan asilasi. Selalu pertahankan tekanan di digester antara 1,15-1,2 bar.

2.2.5 Peralatan Proses PLTBg

Proses pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) pada penelitian ini dibagi atas 4 proses yang saling berhubungan yaitu Unit produksi biogas, unit combined heat and Power (CHP) dan Unit digestate treatment.

2.2.5.1 Unit Produksi Biogas

A. Digester

Digester merupakan komponen utama dalam PLTBg karena dalam digester ini proses pencernaan berlangsung serta tempat dimana biogas diproduksi. Dalam produksi utama dari proses pencernaan terdiri dari metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Namun hidrogen sulfida (H_2S), amonia (NH_3), hidrogen (H_2) dan karbon monoksida (CO) adalah gas-gas sisa lainnya yang juga hadir. Selain itu, padatan basah atau cairan yang memiliki potensi untuk digunakan menjadi pupuk juga ikut diproduksi. Namun, proses pengkondisian harus dilakukan untuk menghindari resiko dalam penggunaannya [30].

2.2.5.2 Unit Combined Heat and Power (CHP)

Combined heat and Power (CHP) adalah penggunaan pembangkit listrik yang mana secara bersamaan menghasilkan listrik dan panas (thermal) dari input bahan baku tunggal. CHP dapat meningkatkan efisiensi hingga dua kali lipat dibandingkan dengan pembangkit listrik tradisional.

Setelah proses pencernaan anaerob, biogas dapat langsung diubah menjadi panas dan listrik secara bersamaan dalam unit CHP ini. Pada unit CHP terdapat beberapa peralatan utama yaitu Gas Turbine-Generator, Steam Generator dan Extraction Steam Turbine-Generator. Panas dan listrik yang dihasilkan dari unit ini dapat dijual melalui grid. Setelah



proses pencernaan anaerob, biogas yang dikompresi sebelum dibakar dalam gas turbin-generator. Turbin mendorong kompresor dan generator untuk menghasilkan listrik. Suhu gas buang adalah sekitar 450°C. Selama pembangkitan listrik, peralatan pembakar uap digunakan untuk menangkap panas dari aliran gas buang. hal ini dilakukan melalui masukan dari udara dan air. Sistem generasi uap yang sangat kompleks. Namun, instrumentasi kontrol modern membuat operasi dan kontrol lebih mudah. Listrik yang dihasilkan dimasukkan ke dalam grid nasional, sedangkan panas dapat dikonsumsi secara internal, atau melalui jaringan pemanasan distrik, dengan kerugian transmisi khas [31]. Adapun peralatan pada CHP adalah sebagai berikut:

A. Gas Turbine-Generator

Generator Turbin Gas merupakan turbin gas pembakaran siklus sederhana (terdiri dari kompresor udara, ruang bakar, dan turbin ekspansi gas) yang digabungkan ke generator listrik. Turbin menggerakkan kompresor dan generator. Fungsi Pembangkit Listrik dalam Prosedur Generator Turbin Gas dengan tujuan utama untuk mengubah energi termal dari bahan bakar menjadi tenaga listrik.[32]

B. Steam Generator/Boiler

Pembangkit / Boiler Uap merupakan perangkat yang melakukan tahapan pembangkitan uap dengan tujuan utama menghasilkan uap dari air masukan. Panas yang diperlukan untuk pembangkitan uap terdiri dari panas pembakaran bahan bakar dengan adanya udara dan panas yang masuk akal dari aliran masukan bahan bakar dan udara. [32]

C. Extraction Steam Generator

Generator Turbin Uap Ekstraksi merupakan sebuah generator listrik. Perangkat ini merupakan pembangkit listrik dalam tahapan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Ekstraksi dengan tujuan utama untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi menjadi uap bertekanan rendah dalam satu atau beberapa langkah ekspansi, mengekstraksi uap bertekanan rendah pada berbagai tekanan dan mengubah daya poros yang dikirim menjadi tenaga listrik. [32]

2.2.5.3 Unit *Treatment* Limbah

Pada unit ini, digestate dari anaerob digester diangkut menggunakan sebuah pompa menuju perangkat penekan (*screw pressing*) yang bertujuan untuk dijadikan pupuk agar



buangan dari digester anaerob ini memiliki daya jual. Harga jual dari digestate sebagai pupuk setelah proses pada *screw pressing* diperoleh 70,96€/ton. [31]

2.2.6 Simulasi

Simulasi merupakan suatu tiruan dari sistem dinamis melalui pemodelan komputer dengan tujuan evaluasi peningkatan kinerja sebuah sistem. Simulasi didefinisikan sebagai sekumpulan metode dan pengaplikasian tiruan atau representasi terhadap suatu perilaku dari sebuah sistem nyata yang biasa dilakukan pada komputer dengan menggunakan peralatan lunak. Sedangkan Shannon percaya bahwa simulasi adalah proses merancang model dari sistem aktual, dan kemudian bereksperimen dengan model untuk mempelajari perilaku sistem atau evaluasi strategi. [32]

Model simulasi merupakan alat yang cukup fleksibel untuk menyelesaikan masalah yang sulit diselesaikan dengan menggunakan metode matematika konvensional. Model simulasi sangat efektif digunakan dalam sistem yang relatif kompleks untuk memecahkan masalah analisis model. Oleh karena itu, keuntungan menggunakan metode simulasi adalah sebagai alat bantu bagi perancang sistem atau pengambil keputusan. Simulasi semacam ini juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Keuntungan dari simulasi adalah:

1. Model matematis tidak dapat merepresentasikan semua jenis sistem, oleh sebab itu simulasi merupakan alternatif tepat.
2. Eksperimen dapat dilakukan tanpa risiko pada sistem yang sebenarnya. Melalui simulasi, percobaan dapat dilakukan pada sistem tanpa harus menanggung resiko dalam menjalankan sistem.
3. Simulasi dapat memperkirakan kinerja sistem dalam kondisi tertentu dan memberikan alternatif desain terbaik berdasarkan spesifikasi yang dibutuhkan.
4. Melalui simulasi, penelitian jangka panjang dapat dilakukan dalam waktu yang singkat, dan berbagai input data dapat digunakan.

Adapun kekurangan dari model simulasi yaitu:

1. Kualitas dan analisis model sangat bergantung terhadap pembuat model.
2. Hanya dapat mengestimasi karakteristik sistem berdasarkan masukan tertentu.

2.2.7 SuperPro Designer Software



SuperPro Designer merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Intelligent, Inca. SuperPro Designer adalah simulator yang paling banyak digunakan pada bidang farmasi, biotek, kimia khusus, makanan, produk konsumen, pengolahan mineral, dan perusahaan terkait. SuperPro juga menangani pemurnian air, pengolahan air limbah, dan proses pengendalian polusi udara. Lebih dari 350 perusahaan di seluruh dunia telah menggunakan SuperPro sebagai *tool* sehari-hari mereka. SuperPro juga merupakan alat pengajaran yang populer. Ini sudah digunakan di lebih dari 400 perguruan tinggi dan universitas di seluruh dunia.[32]

Beberapa perangkat lunak lain juga memiliki fungsi yang sama, tetapi beberapa faktor harus diperhatikan, seperti Aspen Plus (yang telah banyak digunakan di industri, tetapi semua komponen dan model harus ditentukan sendiri), SimSci PRO II (tanpa fungsi analisis ekonomi), ProTreat (komponen digital, model dan unit terbatas), CO2SIM (database terbatas) dan Hysys (dalam hal penggunaan, SuperPro Designer lebih ramah pengguna daripada Hysys). Rangkaian perangkat lunak Perancang SuperPro memberikan rangkaian pilihan terbaik bagi para ilmuwan dalam proses teknik kimia, biokimia atau lingkungan, serta penelitian dan pengembangan, rekayasa proses atau manufaktur. Pada SuperPro Designer juga terlibat dalam biokimia, farmasi, perusahaan makanan atau perusahaan yang terkait dengan konsultan lingkungan, dan pemurnian / pengolahan air. Peralatan yang termasuk dalam SuperPro Designer meliputi beberapa proses alternatif, yaitu keseimbangan kualitas dan energi dari proses terintegrasi, manajemen ukuran peralatan, perencanaan pemrosesan batch, analisis biaya dan evaluasi ekonomi, analisis produk, dan penilaian dampak lingkungan. Alat ini dapat menghasilkan laporan ke dalam aplikasi Windows yang sering digunakan seperti Ms. Word, Excel dan Lainnya [33]

Pada simulasi menggunakan SuperPro, tahapan-tahapan dasar yang perlu ditentukan terlebih dahulu yaitu menentukan mode operasi, *default physical unit*, komponen-komponen yang diperlukan, unit produksi, aliran *input* dan *output*, dan melakukan analisis biaya.

2.2.7.1 Penentuan Mode Operasi

Di dalam Superpro Designer terdapat dua mode operasi yaitu *Batch* dan *Continuous*. adapun perbedaan dari dua mode operasi tersebut yaitu:



Tabel 2.6. Perbedaan Batch dan Continuous Process [34]

Batch Process	Continuous Process
Informasi penjadwalan dibutuhkan	Informasi penjadwalan tidak dibutuhkan
Waktu proses <i>batch</i> terkalkulasi	Waktu proses <i>batch</i> tidak terkalkulasi
Aliran-aliran ditampilkan pada basis per- <i>batch</i>	Aliran-aliran ditampilkan pada basis per-jam
Langkah-langkah inheren pemrosesan batch dapat di masukkan sebagai operasi unit dalam mode kontinu atau semi-kontinu	Langkah-langkah inheren pemrosesan batch dapat dimasukkan; pengguna harus menentukan waktu proses dan waktu selesai untuk langkah-langkah tersebut

2.2.7.2 Penentuan Default Physical Unit

Software SuperPro® memberi kebebasan *User* untuk dapat menentukan unit pengukuran apa yang ingin dipakai seperti:

<i>Time in</i>	: yr, mo, s, min, h, day, wk
<i>Mass in</i>	: lbmol, mol, kmol, lb, MT, ton, oz (troy), oz (avdp), g, kg
<i>Volume in</i>	: yd ³ , L, Mgal, Kgal, gal, ft ³ , m ³
<i>Composition in</i>	: ppb, ppm, [0...1]
<i>Concentration in</i>	: lbmol/gal, kmol/L, micro-mol/L, mmol/L, mol/L, mg/L, g/cm ³ , g/L
<i>Density in</i>	: g/cm ³ , g/L
<i>Temperature in</i>	: deg R, deg K, deg F, °C
<i>Pressure in</i>	: inH ₂ O, inHg, cmH ₂ O, mmHg, psi, atm, bar, Pa

2.2.7.3 Penentuan Komponen

Database SuperPro Designer menyediakan berbagai jenis komponen dan campuran, sehingga pengguna dapat lebih mudah melakukan simulasi, seperti H₂SO₄, H₂O, NaOH, urea, dll. Jika komponen dan campuran ini tidak ada dalam database, pengguna dapat membuat komponen baru dengan menekan tombol baru dan kemudian mengidentifikasi data komponen melalui atribut. Data komposisi ini meliputi rumus kimia, berat molekul, massa jenis, titik didih, faktor yang tidak disengaja, dll. [33].

2.2.7.4 Penentuan Unit Produksi



Setelah menentukan komponen-komponen tersebut, langkah selanjutnya adalah menambahkan unit program yang akan dilibatkan dalam proses simulasi. Unit program adalah bagian dari peralatan yang akan dimodelkan bersama dengan unit operasi yang terlibat. Sebelum masuk ke unit proses, Anda harus mengetahui terlebih dahulu fungsi, fungsi dan unit operasi yang dibutuhkan oleh unit proses tersebut. Berikut ini adalah daftar unit proses yang tersedia untuk perawatan biologis di SuperPro dan unit operasi dari setiap unit proses [33].

2.2.7.5 Penentuan Aliran Input dan Output

Aliran yang digunakan oleh SuperPro® digunakan untuk mengangkut material antar unit proses, antara unit proses, dan di luar unit proses. Ada dua mode untuk mendeskripsikan aliran, yaitu mode koneksi dan mode koneksi sementara. Dengan menentukan aliran masukan dan aliran keluaran, Anda akan mengetahui apakah aliran tersebut merupakan aliran masuk, aliran keluar atau kontak unit pengolah, dan Anda juga akan mengetahui zat apa saja yang terkandung di dalam aliran tersebut. Dalam aliran masukan, pertama-tama harus diklasifikasikan sebagai jenis bahan mentah atau jenis pendapatan. Pada saat yang sama, klasifikasi aliran keluaran adalah metana atau emisi [33].

2.2.7.6 Penentuan Analisis Biaya

Evaluasi ekonomi merupakan aspek yang sangat penting dari proses simulasi. Sebelum melakukan analisa ekonomi, beberapa hal harus ditentukan terlebih dahulu yaitu biaya komponen, biaya proses, biaya peralatan, tenaga kerja dan biaya utilitas.

2.2.8 Analisis Teknis dan Ekonomi

2.2.8.1 Aspek Teknis

Aspek teknis merupakan salah satu aspek penting dari proyek, yang melibatkan proses pengembangan teknologi dan pengoperasiannya setelah proyek selesai. Berdasarkan analisis tersebut, dapat dilihat desain awal estimasi biaya investasi. Analisis teknis secara khusus meliputi analisis ketersediaan bahan baku, proses produksi, mesin dan peralatan, kapasitas produksi, desain aliran bahan, hubungan antar kegiatan, jumlah mesin dan peralatan, permintaan tenaga kerja, serta analisis lokasi dan luas pabrik. Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan saat menentukan lokasi proyek, seperti lokasi target konsumen atau pasar, lokasi bahan baku, kondisi iklim dan tanah, fasilitas transportasi, listrik, air, dan rencana pengembangan industri ke depan. [33]



Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan jenis teknologi, yaitu jenis teknologi yang diusulkan harus dapat menghasilkan standar kualitas produk yang dibutuhkan pasar, dan teknologi tersebut harus memenuhi persyaratan yang diperlukan untuk mencapai kapasitas produksi keekonomian yang telah ditentukan, penerapan bahan baku, dan bahan penolong yang digunakan. Sukses di tempat lain. Selain itu, pemilihan teknologi juga harus dikaitkan dengan besarnya modal yang dibutuhkan untuk membeli mesin dan peralatan yang dibutuhkan serta pengaruhnya terhadap biaya produksi per unit komoditas yang dihasilkan. [31]

2.2.3.2 Aspek Ekonomi

A. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi penggunaan sampah organik sebagai bahan baku biogas untuk pembangkitan energi listrik dilakukan dengan menggunakan metode *life cycle cost* yang terdiri atas *Payback Period* (PBP), *Net Present Value* (NPV) dan juga *Internal Rate of Return* (IRR). Analisis ekonomi ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik finansial pemanfaatan Sampah organik sebagai energi listrik berdasarkan total aliran pendapatan tahunan (*inflow*) dan total aliran biaya tahunan (*outflow*).

B. Perhitungan Komponen Biaya Produksi PLTBG

Di dalam simulasi menggunakan SuperPro designer digunakan desain peralatan pembangkit dan mengevaluasi biaya yang berbeda dari panas dan pembangkitan listrik. Untuk nilai ekonomi, total biaya pembangkit (TPC) dihitung dengan menambahkan total biaya pembangkit tidak langsung (TPIC) dengan total biaya pembangkit langsung (TPDC). TPDC meliputi biaya pembelian peralatan, biaya instalasi, proses pipa, instrumentasi, listrik, bangunan lahan, dan biaya fasilitas tambahan. Sedangkan TPIC meliputi biaya teknik dan biaya konstruksi. Selanjutnya biaya kontraktor dan contingency (CFC) dihitung sebesar 6% dan 8% dari biaya pembangkit. [31]

Modal tetap langsung (DFC) dari pembangkit dihitung dengan menambahkan TPC dan CFC. Hal ini diasumsikan bahwa umur hidup pembangkit adalah 25 tahun dan beroperasi 336 hari setahun. Selama 336 hari operasi, pembangkit beroperasi pada kapasitas penuh. Waktu konstruksi diasumsikan 12 bulan dan periode startup 4 bulan. Sedangkan untuk biaya operasi tahunan utama (AOC) meliputi tenaga kerja, fasilitas dan biaya utilitas. Untuk bahan baku sampah organik dan transportasinya sendiri diasumsikan tanpa biaya dan tidak termasuk ke dalam AOC [31]. Selain itu, biaya tenaga kerja (*Labor-Dependent*) yang



meliputi upah tenaga kerja yang menjalankan pembangkit biogas pada penelitian ini adalah \$4.000/tahun atau \$0,46/jam (Paredes,2015). Tabel 2.5 akan menampilkan biaya operasi tahunan (AOC) yang didapat dari literatur dan database SuperPro Designer.

Tabel 2.7 Asumsi yang digunakan untuk modal biaya operasional tahunan

Parameter	Asumsi
Biaya Bahan Baku	
Sampah Organik	0 \$/kg
Biaya Utilitas	
Daya Standar	0,09 \$/KWh
Uap	15 \$/MT
Uap dari CHP	0 \$/MT
Air Pendingin	0,01 \$/MT
Air Dingin	0,1 \$/MT
Biaya Labor	
Operator	0,46/jam
Biaya Fasilitas	
Perawatan	0,02 x TPDC
Penyusutan	Metode Garis Lurus
Asuransi	1.00 x TPDC
Pajak	0,02 x TPDC
Biaya Pabrik	2,25 x TPDC

2) Perhitungan Komponen Pendapatan

Pendapatan utama dari pembangkit listrik biogas adalah listrik yang dihasilkan dari gas turbin-generator dan turbin uap generator. digestate membentuk sumber pendapatan lain yang penting dan dapat secara signifikan mempengaruhi total pendapatan. Sama seperti penghitungan komponen biaya, penghitungan komponen pendapatan juga didasarkan pada jenis teknologi yang akan digunakan. Beberapa pendapatan PLTBG adalah sebagai berikut:

a) Pendapatan penjualan listrik

Pendapatan dari penjualan listrik PLTBg sangat bergantung pada jumlah produksi listrik yang dibangkitkan dan tarif jual listrik yang berlaku pada daerah tersebut. Untuk mengetahui pendapatan penjualan listrik maka hal pertama yang harus dilakukan yaitu mengetahui harga jual listrik yang berlaku di daerah tersebut berdasarkan keputusan pemerintah tentang tarif jual listrik. Peraturan Menteri ESDM terbaru No. 27/2014 menetapkan tarif feed-in untuk energi terbarukan biomassa dan biogas. Untuk sambungan tegangan menengah maka *feed-in tariff* adalah Rp1.050,00 / kWh. Pada koneksi tekanan rendah, 1400.00 / kWh. Rasio pengali (F) tergantung pada lokasi proyek. Tabel 2.6 menunjukkan *feed rate* dan *multiplier* di berbagai area.



Tabel 2.8. Faktor perkalian *feed-in tariff* daerah [35]

Wilayah	Faktor Perkalian (F)
Jawa	1,00
Sumatera	1,15
Sulawesi	1,25
Kalimantan	1,30
Pulau Bali, Pulau Bangka Belitung, Pulau Lombok	1,50
Kepulauan Riau, Papua dan Pulau lainnya.	1,60

Untuk mengetahui harga jual listrik PLTBg yang berlaku adalah dengan menggunakan perhitungan matematis sebagai berikut:

$$\text{Tarif jual listrik (Rp)} = \text{Harga jual listrik (Rp)} \times F \quad (2.5)$$

Diketahui:

F = Insentif lokasi

Setelah tarif jual listrik ditentukan maka pendapatan penjualan listrik dari PLTBg dapat di ketahui. Adapun perhitunghan matematis dari pendapatan listrik adalah sebagai berikut:

$$\text{Pendapatan listrik (Rp)} = \text{Produksi listrik (kWh/tahun)} \times \text{Tarif listrik (Rp/kWh)} \quad (2.6)$$

b) Pendapatan penjualan pupuk (*Fertilizer*)

Setelah tahapan *anaerobic digestion*, dihasilkan keluaran limbah berupa lumpur yang keluar dari saluran keluar digester. Setelah biogas diekstraksi, hasil limbah dari digester merupakan produk sampingan dari sistem pencernaan digester. lumpur mengandung senyawa yang membantu kesuburan tanah dan meningkatkan hasil panen, atau biasa dikenal dengan pupuk. Banyaknya hasil limbah dipengaruhi oleh persentase bahan baku yang diubah menjadi biogas, bahan baku yang menguap, dan bahan baku yang larut dalam air. diasumsi rata-rata jumlah limbah yang dihasilkan digester adalah 1:1 dan harga jual limbah sebagai pupuk setelah proses penekanan menggunakan sekrup untuk mengurangi kadar air yaitu



€70,5/ton atau \$85/ton [31]. Besarnya pendapatan dari penjualan pupuk dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Pendapatan pupuk (Rp)} = \text{Jumlah pupuk (kg/tahun)} \times \text{Harga jual pupuk (Rp./kg)} \quad (2.5)$$

B. Analisis Finansial

Tahapan analisis finansial bertujuan untuk menilai kelayakan suatu proyek dengan masuk untuk mengetahui apakah proyek tersebut dapat diterima atau tidak. Dalam analisis finansial, hal-hal yang diperhitungkan adalah *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)* dan *Pay Back Periode (PBP)*.

1. *Net Present Value (NPV)*

Metode NPV digunakan untuk mengevaluasi kelayakan proyek. Hal ini didasarkan pada penghitungan nilai sekarang dari arus kas dalam periode waktu tertentu, dimana arus kas merupakan selisih antara pendapatan dan biaya tahun berjalan. [17]

2. *Internal Rate of Return (IRR)*

Biasanya, ketika mengevaluasi NPV, itu juga menghitung tingkat pengembalian internal. IRR adalah tingkat diskonto saat NPV nol. Oleh karena itu, IRR adalah nilai ketika nilai sekarang dari biaya dan nilai manfaat sekarang adalah sama. Umumnya, jika nilai investasi IRR untuk proyek tersebut besar, maka harus diinvestasikan. Sebaliknya, jika IRR lebih rendah dari nilai investasi proyek, sebaiknya hal ini tidak dilakukan. [17]

3. *Pay Back Periode (PBP)*

Jangka waktu pengembalian modal adalah jumlah tahun yang diperlukan untuk memulihkan semua biaya investasi [17]



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang didukung pengumpulan data-data mengenai potensi pemanfaatan sampah organik yang ada di Pulau Bengkalis, serta menganalisis pembangkit listrik dengan menggunakan bahan bakar yang berasal dari sampah organik Pulau Bengkalis untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Selanjutnya dilakukan analisis teknis dan ekonomi menggunakan software Superpro Designer, aspek teknis meliputi potensi biogas yang dihasilkan, kapasitas produksi, potensi listrik yang dihasilkan serta perhitungan dan jenis peralatan yang digunakan, sedangkan aspek ekonomi terdiri dari analisis ekonomi yaitu modal investasi, biaya operasi dan analisis finansial yang meliputi *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Payback Periods (PBP)*.

3.2 Proses Alur Penelitian

Secara garis besar proses penelitian yang akan dilakukan tentang Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) sebagai pengembangan energi listrik dibagi atas 6 tahapan, diantaranya :

1. Tahapan Perencanaan
2. Tahapan pengumpulan Data
3. Tahapan Simulasi
4. Tahapan Analisis Teknis dan Ekonomi
5. Tahapan Kesimpulan dan Saran.

Dimana tahapan-tahapan tersebut dijabarkan di Gambar 3.1

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

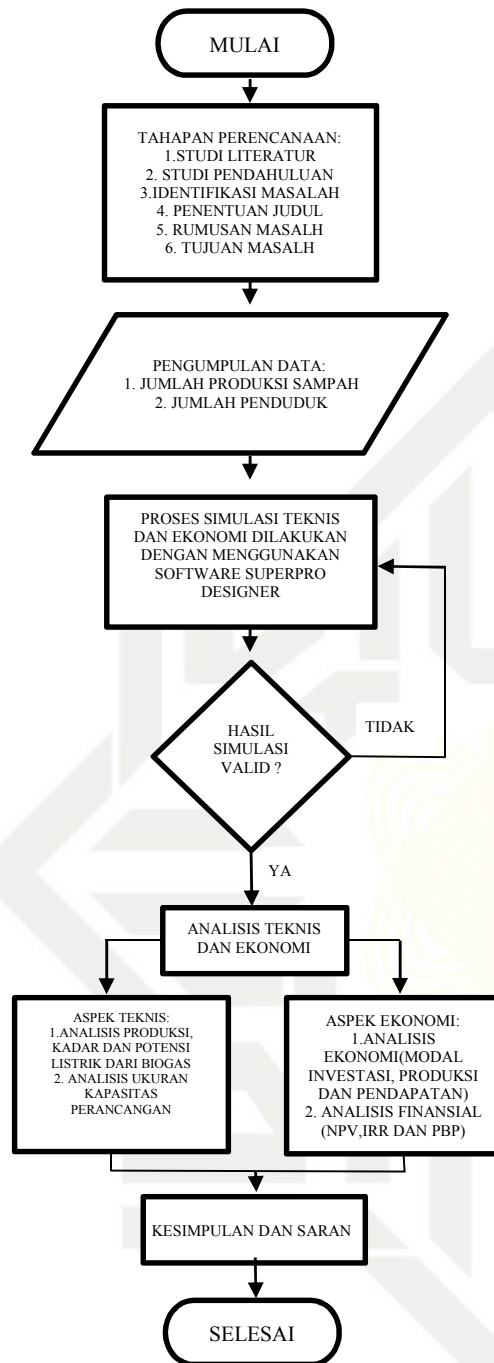
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.3

Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* tahapan penelitian

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



3.4 Tahapan Perencanaan

Pada tahapan perencanaan penelitian ini diawali dengan tahap studi literatur yang berkaitan dengan penelitian, dilanjutkan dengan melakukan studi pendahuluan, kemudian mengidentifikasi masalah yang ada serta merumuskan masalah dan menetapkan tujuan yang ingin dicapai dari pengidentifikasian masalah yang telah ditentukan sebelumnya.

3.4.1 Studi Literatur

Mengumpulkan beberapa penelitian yang dibutuhkan untuk referensi pada penelitian ini, seperti Tugas Akhir, buku dan jurnal. Pada setiap penelitian yang berhubungan akan dianalisis teori yang dipakai, metode serta hasil penelitian. Pada buku akan didapati teori yang mendukung sehingga hasil yang akan dicapai lebih baik.

3.4.2 Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan bertujuan untuk mengetahui apakah perancangan PLTBg di Kabupaten Bengkalis ini layak untuk dilakukan penelitian lebih lanjut.

3.4.3 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah berisi tentang beberapa alasan dilakukannya penelitian ini, adapun identifikasi masalah pada penelitian ini adalah mencari solusi permasalahan kelistrikan di Pulau Bengkalis dengan memanfaatkan sampah yang ada.

3.4.4 Penentuan Judul

Judul adalah dasar berpikir pada sebuah penelitian yang dapat menggambarkan secara garis besar penelitian yang diangkat berdasarkan permasalahan untuk sebuah solusi dari permasalahan tersebut. Oleh karena itu, judul penelitian ini adalah “Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) di Pulau Bengkalis.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



3.4.5 Rumusan Masalah

Beberapa pertanyaan yang akan dijawab pada hasil penelitian ini adalah bagaimana potensi biogas dari sampah di Pulau Bengkalis serta energi listrik yang dikandungnya dan bagaimana Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) berdasarkan aspek teknis dan aspek ekonominya.

3.4.6 Tujuan Masalah

Tujuan yang akan dicapai berhubungan dengan identifikasi masalah adalah mengetahui secara ilmiah potensi biogas dari sampah organik melalui teknologi yang akan dipakai dengan memanfaatkan sampah yang ada di Kabupaten Bengkalis sebagai bahan utama Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) yang dilihat dari aspek teknis dan ekonomi.

3.5 Pengumpulan Data

Data yang akan dikumpulkan merupakan data pendukung serta diperlukan pada penelitian ini, kemudian data akan diaplikasikan di Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) diantaranya:

1. Data jumlah sampah di Pulau Bengkalis di dapat dari SNI 19-3983-1995 Tentang spesifikasi timbunan sampah untuk kota kecil dan sedang, dimana data tersebut akan dihitung dengan data jumlah penduduk pada tahun awal operasi. Data tersebut akan dikaitkan dengan persentase sampah organik yang terdapat pada timbunan sampah TPA Bantan yaitu 57,01% yang mengacu pada *website* resmi Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Adapun data rata-rata timbunan sampah untuk kota kecil SNI 19-3983-1995 adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1. Besaran timbunan sampah berdasarkan klasifikasi kota [36]

NO	KLASIFIKASI KOTA	SATUAN	
		VOLUME (L/ORANG/HARI)	BERAT (KG/ORANG/HARI)
1	Kota sedang	2,75 – 3,25	0,70 – 0,80



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

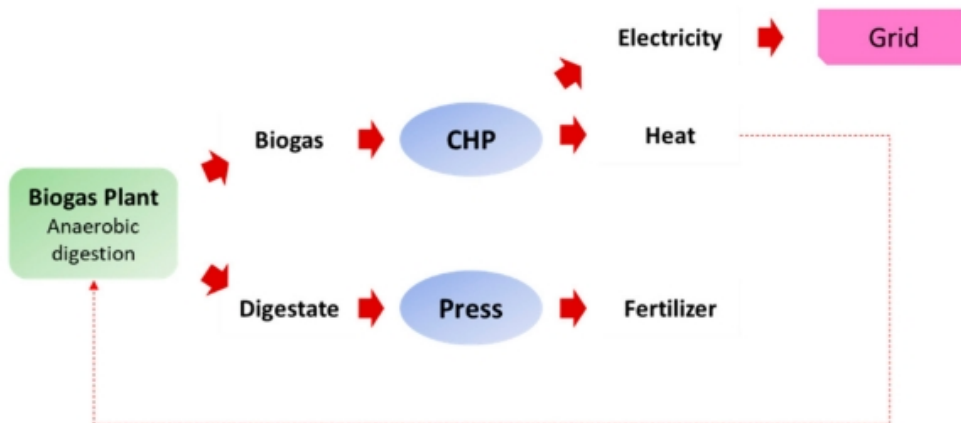
2. Data kependudukan Pulau Bengkalis yang terdiri dari kecamatan Bengkalis dan kecamatan Bantan yang di dapat dari BPS Kabupaten Bengkalis akan digunakan untuk mengetahui rata rata laju pertumbuhan penduduk di 5 tahun terakhir, laju pertumbuhan penduduk tersebut akan dijadikan acuan untuk memprediksi jumlah penduduk di 5 tahun yang akan datang. Data prediksi jumlah penduduk di 5 tahun yang akan datang itu nantilah yang akan menjadi acuan untuk mengetahui produksi sampah di 5 tahun yang akan datang. Adapun jumlah penduduk pada 5 tahun terakhir adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2. Jumlah Penduduk Pulau Bengkalis

TAHUN	JUMLAH PENDUDUK (JIWA)		TOTAL (JIWA)
	Kec. Bengkalis	Kec. Bantan	
2019	82.111	41.472	123.583
2018	81.578	40.424	122.002
2017	80.690	40.062	120.752
2016	79.622	39.532	119.158
2015	78.571	39.044	117.615
2014	77.488	38.535	116.023

3.6 Diagram Alir Proses

Pada tahap penelitian ini akan ditentukan unit - unit proses produksi energi listrik dari biogas. unit - unit produksi yaitu unit teknologi *anaerobic digestion*, unit *combined heat and power (CHP)*, dan unit *digestate treatment* . adapun unit - unit tersebut terlihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2. Unit proses produksi energi listrik dari biogas

3.6.1 Teknologi *Anaerobic Digestion*

Pada tahapan *anaerobic digestion* bahan baku berupa sampah organik yang telah melalui tahapan pre-treatment dimasukkan pada digester untuk dilakukan pembangkitan biogas menggunakan beberapa reaksi dalam waktu 25 hari. Adapun reaksi-reaksi yang akan terjadi adalah sebagai berikut:

1. Hidrolisis, reaksi hidrolisis akan memecah zat organik partikular kompleks (protein, karbohidrat, dan lemak) menjadi senyawa yang mudah larut (asam amino, glukosa, asam lemak bebas, dan gliserol)

Karbohidrat + Air → Glucose

Fats → Glicerol + Oleic acid

Protein → Cystine

2. Asidogenesis, reaksi asidogenesis akan mendegradasi komponen yang dihasilkan dari tahapan hidrolisis melalui bantuan bakteri asidogenik dan fermentasi.

Glucose → Acetic acid + Ethyl Alcohol

Oleic acid → Acetic acid + Ethyl Alcohol + Butyric acid



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Gliserol → Propionic acid

Cystine → Lactic acid + Propionic acid

3. Asetogenesis, tahapan pada asetogenesis memungkinkan transformasi asam yang dihasilkan dari reaksi asidogenesis menjadi asetat dan karbon dioksida

Propionic acid → Acetic acid + Carbon Dioxid + Hydrogen

Butyric acid → Acetic acid + Carbon Dioxid

Ethyl Alcohol → Acetic acid + Hydrogen

Lactic acid → Acetic acid + Carbon Dioxid + Hydrogen

4. Metanogenesis, tahapan terakhir adalah metanogenesis yaitu transformasi Asetat, hidrogen, dan karbon dioksida menjadi metana

Acetic acid → Methane + Carbon Dioxid

Karbondioksida + Hidrogen → Metana + water

Pada reaksi metanogenesis inilah hasil akhir dari tahapan anaerobik digester untuk menghasilkan biogas berupa Metana dan karbondioksida di mana zat tersebutlah yang menjadi bahan bakar dalam tahapan Unit *Combined Heat and Power* (CHP).

3.6.2 Unit *Combined Heat and Power* (CHP)

Setelah proses pencernaan anaerob, biogas diubah menjadi panas dan listrik dalam unit CHP. Pada unit biogas hasil pencernaan anaerob dikompresi sebelum dibakar dalam generator turbin gas, turbin akan mendorong kompresor dan generator untuk menghasilkan tenaga dimana suhu gas yang terpakai adalah sekitar 450°C, nantinya gas buang yang dihasilkan dari pembangkitan listrik pada generator turbin gas akan di ditangkap untuk disalurkan pada peralatan pembangkit uap (*Steam Generation*). Sedangkan uap yang dihasilkan dalam turbin uap digunakan dalam Anaerobic Digestion.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

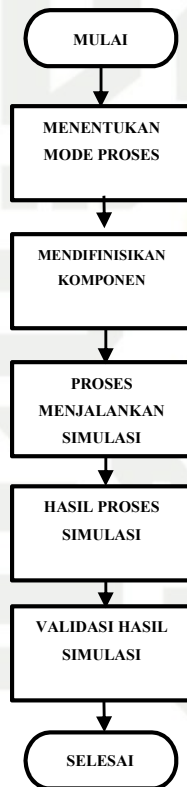
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.6.3 Unit Digestate Treatment

Unit ini merupakan tindak lanjut dari materi organik yang berasal dari *output* sisa reaksi pencernaan anaerob, dimana sebuah pompa akan digunakan mengangkat materi sisa pencernaan ke sekrup penekan (*screw pressing*) yang berfungsi untuk mengurangi kadar air dan di simpan di penyimpanan. Hasil dari unit digestate treatment ini adalah berupa pupuk (*fertilizer*) yang memiliki nilai jual.

3.7 Proses Simulasi

Proses simulasi yang dilakukan pada pada penelitian ini mencakup hingga aspek teknis dan ekonomisnya. Adapun diagram alur pada proses simulasi adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3 *Flowchart* Tahapan Simulasi



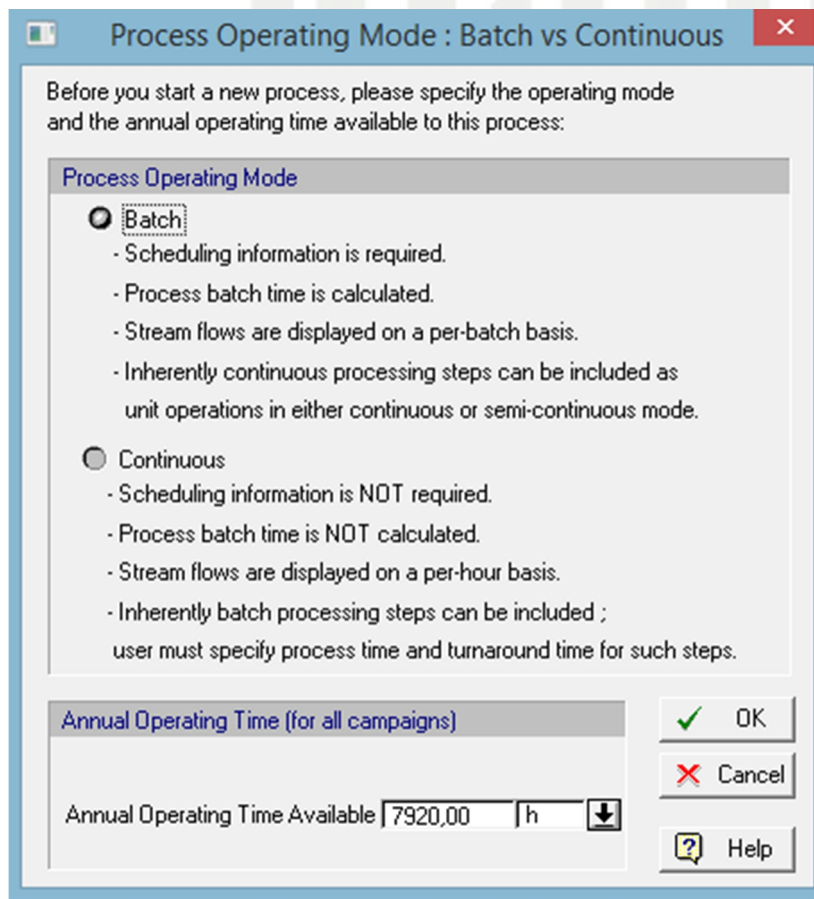
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.7.1 Menentukan Mode Operasi

Setelah membuat diagram alir proses, langkah selanjutnya adalah memulai simulasi melalui proses seleksi. Pemilihan proses tergantung pada proses yang ingin Anda jalankan. Pemilihan proses dibagi menjadi dua opsi, batch dan kontinu. Di pabrik kontinu, semua tahapan bersifat kontinu, sedangkan untuk tipe batch, semua tahapan proses memiliki siklus. Jika proses diatur ke mode *Continuous*, operasi, unit proses atau proses itu sendiri tidak memerlukan pengaturan perencanaan, dan jika proses diatur dalam mode batch, Anda harus mengatur waktu operasi, waktu kerja unit proses dan pengaturan perencanaan waktu proses total secara manual. Setelah membuka perangkat lunak dan memilih tabel baru, silakan pilih *New Sheet*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 di bawah.



Gambar 3.4. Pengaturan Mode Operasi



3.7.2 Mendefinisikan Komponen

Mendefinisikan komponen merupakan tahapan lanjutan dari proses simulasi di mana pada tahapan ini dilakukan *input* komponen-komponen yang digunakan pada proses simulasi menggunakan SuperPro ini. Terdapat dua kategori komponen yang akan di *input* yaitu *Pure components* dan *Stock mixture*. *Pure components* merupakan komponen yang bersifat tunggal di dalam proses yang diantaranya yaitu *acetic acid, glucose, carbohydrate, carbon dioxide, glycerol, cystine, butyric acid, propionic acid, pyruvic acid, oleic acid methane, lactic acid, nitrogen, hydrogen, oxygen, fats, ethyl alcohol, protein*, dan *water*. Sedangkan *stock mixture* pada penelitian ini adalah sampah organik yang memiliki potensi sebesar 15 Ton/hari. Adapun komposisi dari sampah organik adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3. Komposisi pada sampah organik

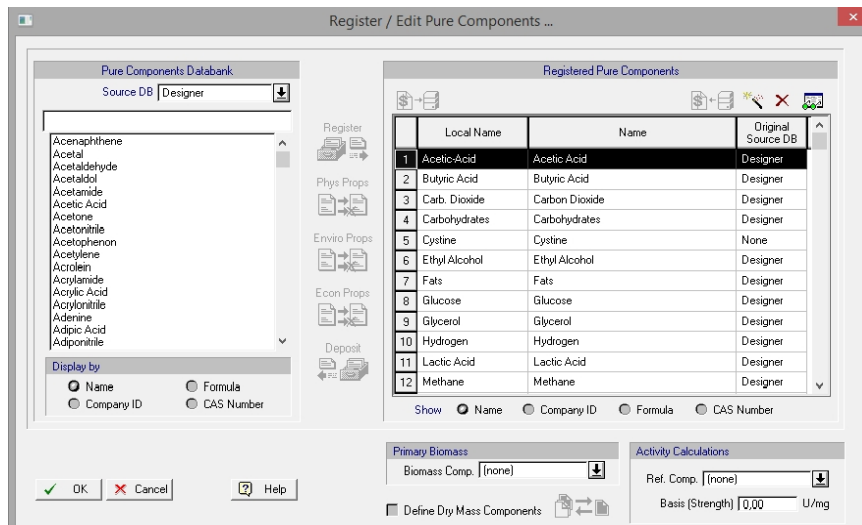
Komponen	Persentase
Karbohidrat	55 %
Proteins	15 %
Lemak	24 %
Air	6 %

Pada penelitian ini, beberapa komponen tidak terdapat di dalam *database* SuperPro seperti *Cystine*. Maka dari itu ditambahkan *pure components* dengan diaturnya properti fisik pada setiap komponen seperti formula kimia, *molecular weights, density*, dan *boiling point*. *Datasheet* properti fisik tersebut diperoleh dari *website* (*sciencelab, wolframalpha* dan *pubchem*). Pengaturan *input* komponen yang cantumkan ke dalam simulasi seperti yang terlihat pada Gambar 3.4 dan properti fisik terlihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.

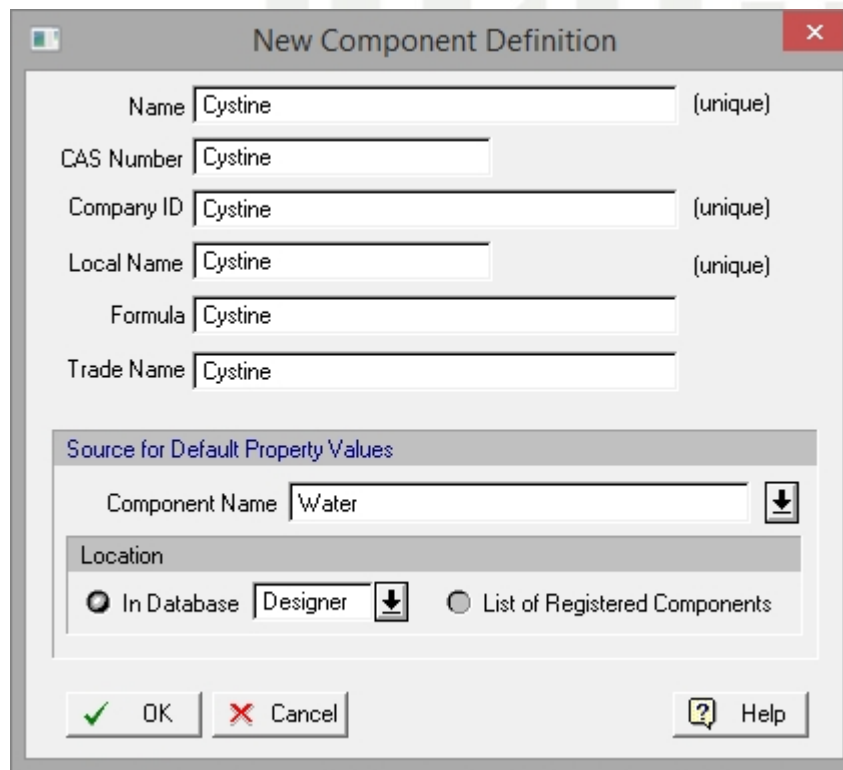


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.5. Pengaturan *input* Komponen pada SuperPro Designer.



Gambar 3.6. Pengaturan Properti Fisik Komponen Baru



3.7.3 Unit Prosedur dan Menjalankan Simulasi

Setelah menentukan komponen yang terlibat dalam proses, langkah selanjutnya adalah memilih peralatan yang terlibat dalam proses berdasarkan jenis komponen dan kondisi pengoperasian. Konsep proses unit konstruksi adalah kunci dari proses pemodelan menggunakan SuperPro. Anda dapat menyelesaikan unit program lainnya dengan memilih unit program yang diperlukan pada tab *unit procedure* sesuai dengan kategori prosedur yang Tersedia, dan kemudian meletakkannya di lembar kerja, langkah ini dijelaskan pada gambar 3.6. Langkah selanjutnya adalah memasukkan unit operasi ke dalam unit operasi. Unit operasi yang dipilih adalah langkah kerja yang akan dijalankan oleh unit proses. Dalam studi ini, pengaturan operasi unit program dipilih sesuai kebutuhan.

Setelah melakukan pengaturan operasi pada unit proses, maka perlu dilakukan penjadwalan setiap unit proses, yang dapat dilakukan melalui menu penjadwalan di setiap unit proses. Kemudian tentukan schedule yang sudah dijalankan, tentukan kondisi operasi dan spesifikasinya. Kondisi operasi ditentukan berdasarkan studi sebelumnya terkait dengan proses produksi biogas. Untuk spesifikasinya, pola yang digunakan dalam penelitian berbasis simulasi adalah pola desain. Mode desain secara otomatis menghitung spesifikasi peralatan melalui perangkat lunak. Setelah peralatan dimasukkan pada lembar kerja, langkah selanjutnya adalah menghubungkan masing-masing peralatan dari bahan baku hingga akhir produk. Unit prosedur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.4. Unit Procedure

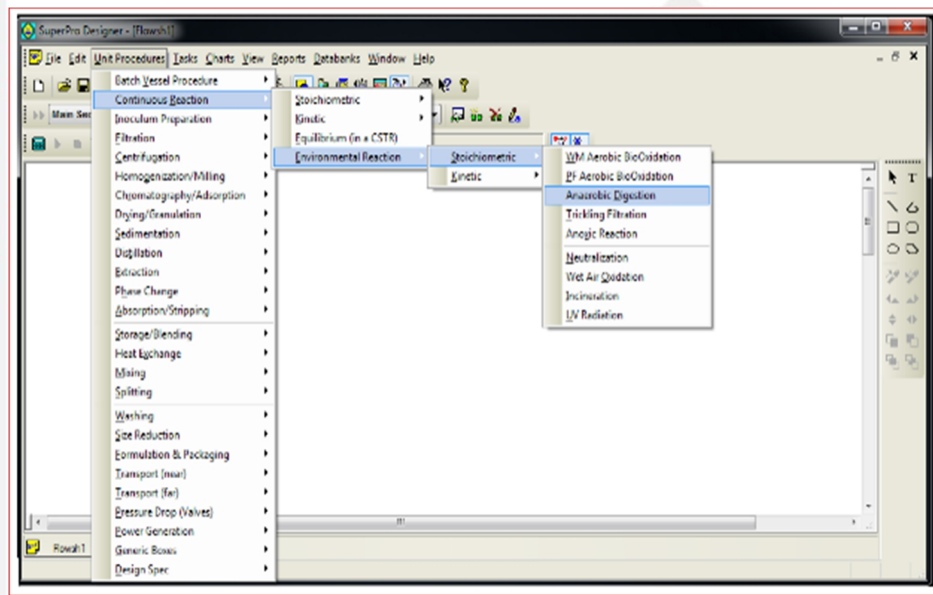
No	Unit Procedure	Pengaturan Operasi
1	Stoichiometric Anaerobic Digestion	<i>Bio-react (Stoich)</i>
2	Gas Turbine-Generator	<i>Generate electricity</i>
3	Steam Generator	<i>Generate steam</i>



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4	Extraction	Stream	Turbin	<i>Expand</i>
	Generator			
5	Centrifugal Pump			<i>Pump</i>
6	Screw Pressing			<i>Filter</i>
7	Storage			<i>Store</i>
8	Grinder			<i>Grinding</i>



Gambar 3.6. Pemilihan Unit Procedure

Setelah semua unit prosedur diletakan pada lembar kerja, semua unit proedur di hubungkan sesuai dengan alur yang telah ditentukan menggunakan *connect mode* yang terdapat pada *main bar*. *Stream* sampah organik akan dijadikan *input* bahan baku *anaerobic digestion* yang mana akan terhubung dengan aliran unit produksi pada lebar kerja. setelah lembar kerja dirangkai maka akan dilakukan pengaturan parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya.



3.8 Validasi Hasil Simulasi

Apabila tahap di atas telah dilakukan, maka selanjutnya dalam menjalankan simulasi dengan memilih solve M&E (mass & energy) balances pada *main bar* atau dengan menekan tombol F9 pada keyboard dengan tujuan agar software dapat melakukan proses perhitungan atau proses keseimbangan massa dan energi. Jika tidak ada timbul indikator kesalahan maka pilih tab *report* untuk mendapatkan hasil simulasi berdasarkan beberapa laporan berikut:

1. *Material & Stream Report* (SR) merupakan laporan yang mengandung data proses keseluruhan, *Material Requirements*, *Stream Details*, *Overall Component Balance* dan *Equipment Contents*.
2. *Economic Evaluation Report* (EER) berisikan laporan tentang *Executive Summary* (Total modal investasi, Biaya operasi, harga jual, Biaya operasi bersih, *Gross Margin*, *Return On Investment* (ROI), *Payback Time*, NPV dan IRR).
3. *Cash Flow Analysis Report* (CFR) yang berisi analisis tentang cash flow proyek di setiap tahun selama beroperasi seperti NPV dan IRR sebelum dan sesudah pajak.

Validasi proses simulasi bertujuan untuk menentukan apakah proses simulasi telah berjalan dengan benar dan menghasilkan output yang diinginkan. Output yang diinginkan yaitu listrik, digestate (pupuk), dan panas. Produksi gas Metana sangat mempengaruhi Output yang diinginkan dari simulasi ini, adapun produksi gas metana yang diinginkan adalah 50% – 70% dari total Produksi biogas. Listrik yang diharapkan pada simulasi ini yaitu 10 kWh per m³ metan yang dihasilkan dari proses anaerobik digester. Jika output tidak sesuai dengan yang diinginkan berarti terdapat kesalahan pada tahapan proses. kesalahan tersebut seperti kesalahan dalam mendefinisikan operasi dan masukan yang tidak sesuai dengan apa yang diperlukan. kesalahan-kesalahan tersebut akan terindikasi dan ditampilkan pada *panel output* setelah simulasi dijalankan. indikator tersebut berupa pesan yang memiliki 2 bagian yaitu:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang






1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Indikator tingkat kesalahan

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

-  *Internal warning* dan  *Internal error*, indikator ini terjadi karena kesalahan pada penyelesaian *M&B Balances* yang tidak cukup parah dan akan diabaikan oleh *User*.
-  *Warning*, indikator ini akan muncul jika ditemukan nilai dan situasi yang tidak terduga. perintah dapat tetap dilanjutkan akan tetapi kebenaran dari hasil diragukan. Hal tersebut tergantung dari *user* apakah akan mengabaikan indikator tersebut atau melakukan penyelidikan lebih lanjut.
-  *Non-severe error*, terjadi kesalahan tetapi aplikasi berhasil melewatinya dan kembali ke perintah asli. Indikator ini harus ditangani, jika tidak maka hasilnya akan tidak benar atau tidak lengkap.
-  *Severe error*, terjadi situasi abnormal yang mencegah aplikasi untuk menyelesaikan perintah asli yang dikeluarkan. *User* harus menyelesaikan masalah ini sebelum membuat kemajuan apapun.

2. Penjelasan ringkas mengenai sumber *error* .

Apabila hasil yang didapat tidak sesuai dengan yang diinginkan maka akan dilakukan *looping* dengan memeriksa ulang atas model yang telah dibuat agar dapat dilakukan analisis teknis dan ekonomis.

3.9 Aspek Teknis dan Ekonomis

3.9.1 Analisis Teknis PLTBg

Dalam menganalisis PLTBg ini, peneliti menggunakan bantuan software SuperPro Designer dengan acuan jurnal dari penelitian-penelitian sebelumnya baik yang berasal dari dalam negeri maupun jurnal-jurnal internasional. Adapun tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam analisis teknis PLTBg yaitu:



3.9.1.1 Produksi, Kadar dan Potensi Energi Listrik dari Biogas

Dalam hal ini akan dilakukan analisis mengenai jumlah produksi, kadar biogas yang berdasarkan kepada hasil dari simulasi. Untuk mengetahui produksi dan kadar dari biogas, terlebih dahulu dilakukan perhitungan proyeksi produksi harian bahan baku yaitu sampah kabupaten Bengkalis dan kandungan sampah organiknya menggunakan persamaan 2.1 sampai dengan 2.3. Setelah produksi sampah organik diketahui maka bahan baku tersebut akan masuk ke tahap *anaerobic digestion* dimana dilakukan proses pencernaan menggunakan reaksi hidrolisis, asidogenesis, ketogenesis dan metanogenesis di dalam digester. Reaksi pencernaan yang dilakukan selama 25 hari akan menghasilkan biogas dengan kandungan metana dan karbondioksida. Hasil akhir dari *anaerobic digestion* nantinya yang akan dijadikan bahan bakar untuk di konversi menjadi energi listrik dalam tahapan CHP yang mana peralatan konversi terdiri dari *gas turbine-generator*, *steam generator* dan *extraction stream-generator*.

3.9.1.2 Ukuran Kapasitas Perancangan

Ukuran kapasitas perancangan ini tergantung kepada produksi biogas harian. Setiap ukuran peralatan terdapat pada material masukan dari peralatan itu tersebut yang mana akan diperoleh dari analisis berdasarkan hasil simulasi. Ukuran perancangan seperti ukuran truk, *grinder*, *pump*, *anaerobic digester*, *screw pressing*, *gas turbin generator*, *steam generator*, dan *extraction steam turbin generator* akan terlihat pada hasil simulasi dan dipaparkan pada *Material & Stream Report (SR)* pada menu *repor* software SuperPro.

3.9.2 Analisis Ekonomi PLTBg

Salah satu tujuan dalam penelitian ini adalah analisis aspek ekonomi. Analisis ekonomi pada penelitian ini menggunakan software superpro designer Karena memiliki fitur dalam penyajian analisis keekonomisan suatu pembangkit.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan s
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



3.9.2.1 Modal Investasi

Modal investasi merupakan keseluruhan modal yang dibutuhkan untuk membangun PLTBg, modal investasi sendiri dari modal tetap (DFC) dan modal kerja. Pada modal tetap terdapat tiga bagian biaya yang di perkirakan yaitu biaya langsung, biaya tidak langsung dan biaya lainnya. Biaya biaya tersebut akan dikalikan dengan biaya pembelian peralatan (PC) sesuai dengan faktor perkalian (F) masing-masing biaya yang telah di tentukan pada software SuperPro. Biaya langsung terdiri dari *piping, instrumentation, insulation, electrical facilities, Building, yard improvement, dan auxiliary facilities*. Biaya tak langsung terdiri dari biaya *engineering* dan *construction*. Sedangkan untuk biaya lainnya terdiri dari contractor's Bee dan contingency. Modal utama selanjutnya dalam modal investasi adalah modal kerja (*Working capital*) di mana modal kerja yang diperkirakan untuk menutupi biaya untuk pelaksanaan *Labor, raw material* dan *utilitas*. Hasilnya dapat dilihat dari *Economic Evaluation Report (EER)*.

3.9.2.2 Biaya Produksi

Biaya produksi merupakan semua biaya yang digunakan dalam beroperasinya PLTBg. Biaya produksi terdiri dari biaya tetap dan biaya variabel. Biaya tetap merupakan biaya yang tidak berpengaruh atas jumlah produksi, seperti bunga pinjaman bank, depresiasi, dan upah tenaga kerja. Sedangkan biaya variabel merupakan biaya jumlahnya tergantung kepada jumlah produksi yang dihasilkan dimana apabila semakin banyak produksi yang dilakukan maka semakin banyak pula bahan yang digunakan sehingga biaya membesar, yang mana meliputi biaya bahan baku proses dan utilitas seperti biaya perawatan. Hal ini dapat dilihat pada *Material & Stream Report (SR)* dan *Economic Evaluation Report (EER)*.

3.9.2.3 Pendapatan

Pada penelitian ini, pendapatan yang di dapatkan dari pengoperasian dari pembangkit listrik berbahan baku sampah organik ini ialah hasilkan dari penjualan listrik pada jaringan berdasarkan harga jual yang telah di tentukan oleh pemerintah



melalui permen ESDM 27 Tahun 2014 di mana harga jual tenaga listrik dari PLTBg jika teinterkoneksi dengan jaringan tegangan menengah yaitu $\text{Rp}1.050/\text{kWh} \times F$. Faktor F yang di maksud ialah faktor insentif sesuai dengan lokasi pembelian tenaga listrik oleh PT PLN (Persero) dengan besaran untuk pulau Sumatra yaitu $F = 1,15$. pendapatan juga di dapat dari penjualan limbah hasil digester berupa pupuk sesuai dengan harga yang berlaku.

3.9.3 Analisis Finansial

Analisis finansial bertujuan untuk menilai apakah layak atau tidaknya proyek pembangkit listrik ini yang meliputi analisis terhadap *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)* dan *Payback Period (PBP)*. Hasil dari analisis finansial dapat dilihat dari *Economic Evaluation (EER)* yang di sajikan oleh Software SuperPro pada menu *repor*.

3.9.3.1 Net Present Value

Metode *NPV* digunakan untuk mengevaluasi kelayakan Investasi. Hal ini didasarkan pada penghitungan nilai arus kas sekarang dalam periode waktu tertentu. Arus kas bersih merupakan perbedaan antara pendapatan dan biaya tahunan setelah menentukan nilai bersih. Setiap arus kas yang masuk per tahunnya akan di hitung dan dijumlahkan keseluruhan agar *NPV* dapat di ketahui. Nantinya jumlah keseluruhan dari arus kas akan dibandingkan dengan biaya investasi, jika total dari arus kas lebih besar dibandingkan dengan biaya investasi maka investasi yang dilakukan dianggap layak dan sebaliknya. Pada penelitian ini *NPV* di hitung berdasarkan tiga tingkatan suku bunga yaitu 5% untuk suku bunga yang rendah, 9% untuk suku bunga menengah dan 11% yang merupakan suku bunga tartinggi.

3.9.3.2 Internal Rate of Value

Biasanya, ketika mengevaluasi *NPV* kita juga dapat menghitung tingkat pengembalian internal. *IRR* merupakan indikator tingkat bunga yang digunakan sebagai cara untuk mengetahui tingkat bunga investasi yang sesuai dengan nilai investasi saat ini. Umumnya, jika nilai *IRR* untuk proyek tersebut lebih besar dibandingkan dengan modal yang dikeluarkan, maka proyek tersebut baik untuk di

investasikan. Sebaliknya, jika *IRR* lebih rendah dari nilai investasi proyek, sebaiknya hal ini tidak dilakukan.

3.9.3.3 PayBack Period

Waktu pengembalian modal (*Payback Period*) merupakan ukuran waktu yang dibutuhkan mengembalikan total modal investasi melalui laba bersih kumulatif, yang mana dapat di hitung dengan membagi total modal investasi yang di bebaskan pada proyek ini dengan laba bersih tahunan. Semakin pendek waktu pengembalian modal maka semakin bagus juga untuk dilakukannya investasi.

3.10. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan rangkuman hasil dari penelitian yang dilakukan dimana harus sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Sedangkan saran merupakan masukan yang bertujuan menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan.

3.11. Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian yang akan dilakukan dimuai dari penentuan topik penelitian hingga kepada pelaksanaan sidang tugas akhir, adapun rinciannya sebagai berikut:

Tabel 3.5. Jadwal Penelitian

No.	Kegiatan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Menentukan Topik Penelitian												
2	Mencari Lokasi Penelitian												
3	Mengumpulkan Data Penelitian												
4	Melakukan Bimbingan Proposal												
5	Melakukan Perhitungan Awal Proposal												
6	Melaksanakan Seminar Proposal												
7	Melakukan Perhitungan Penelitian												
8	Melakukan Bimbingan Tugas Akhir												
9	Melaksanakan Sidang Tugas Akhir												
10	Melakukan Pendaftaran dan Melaksanakan Wiasuda												



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

Sampah organik di kabupaten Bengkalis dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembangkit listrik di mana dengan jumlah rata-rata sebanyak 49,985 kg/hari dapat menghasilkan listrik sebesar 277.539 kWh/hari.

Limbah dari proses pembentukan biogas dapat dimanfaatkan sebagai pupuk (fertilizer) sebesar 8.207,1 ton/tahun dengan harga jual \$ 700.000/tahun sehingga dari sisi teknis dan ekonomi membuat pembangkit listrik dari sampah organik layak untuk diteruskan.

Setelah tahapan *anaerobic digestion* dilakukan didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa 78% merupakan gas metana atau 1,05 ton/jam di mana dapat membangkitkan listrik dengan kapasitas pembangkit 12 MW serta memenuhi syarat untuk pembelian listrik oleh PT.PLN (Persero) berdasarkan Permen ESDM No.27 Tahun 2014.

Modal investasi yang dikeluarkan adalah sebesar \$ 65.409.000, biaya operasi pembangkit listrik per tahunnya sebesar \$ 237.000 dengan total pendapatan \$8.813.000/tahun.

Analisis finansial menunjukkan bahwa NPV = \$ 67.782.000, IRR = 13,83% dan Payback Periode = 8,47 tahun dari umur pembangkit selama 25 tahun dengan suku bunga sebesar 5%. Dari hasil ini menunjukkan bahwa proyek pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) berbahan baku sampah organik di Kabupaten Bengkalis dari aspek ekonomi layak untuk dilanjutkan.

Dari kesimpulan yang paparkan, proyek PLTBg dari sampah organik di kabupaten Bengkalis jika ditinjau dari aspek teknis dan ekonomi maka layak untuk dilanjutkan dan dapat dijadikan sebagai usulan rekomendasi untuk mengatasi masalah sampah yang ada serta pemanfaatannya menjadi energi listrik.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat mendukung penelitian simulasi ini yaitu:



1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
3. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Penyajian lebih lanjut dalam aspek sosial dan lingkungan.

Penetapan regulasi pemerintah kabupaten Bengkalis dalam pengelolaan sampah organik agar didapat teknologi yang tepat untuk memisahkan sampah organ dengan jenis sampah lain dengan tujuan untuk dapat mempermudah proses pengambilan bahan baku pembangkit listrik.

Diperlukannya penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan sampah organik sebagai bahan baku pembangkitan energi listrik yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.



UIN SUSKA RIAU



DAFTAR ISI

- [1] BPS, “Statistik Indonesia 2019.” Badan Pusat Statistik (BPS), 2019, Diakses: Feb 16, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/publication/2019/07/04/daac1ba18cae1e90706ee58a/statistik-indonesia-2019.html>.
- [2] BPPT, “BPPT Outlook Energi 2020 - BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI.” Diakses: Jan 25, 2021. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bppt.go.id/dokumen/outlook/outlook-energi>.
- [3] BPS Kabupaten Bengkalis, “Kabupaten Bengkalis Dalam Angka 2020.” 2020.
- [4] Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Provinsi Riau, “Rancangan Umum Penanaman Modal Provinsi Riau Tahun 2019 - 2025.” Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Provinsi Riau, 2018.
- [5] B. Suryaman, “Tambah Daya Mampu Pembangkit, PLN Relokasi Mesin 7 Pembangkit ke PLTD Bengkalis.” <https://diskominfoitik.bengkalis.go.id/web/detailberita/12334/tambah-daya-mampu-pembangkit-pln-relokasi-mesin-7-pembangkit-ke-pltd-bengkalis-> (diakses Jan 20, 2021).
- [6] BPS Kabupaten Bengkalis, “Kabupaten Bengkalis Dalam Angka 2016.” .
- [7] S. R. Utami, “Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Menggunakan Sistem Oscilating Water Column (OWC) di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia,” UNIVERSITAS INDONESIA, DEPOK, 2010.
- [8] D. M. Situngkir, *DatabasevPotensi Energi Baru Terbarukan Provindi Riau*. Pekanbaru: Dinas ESDM Riau, 2017.
- [9] PSLB3, “Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional,” 2018. <http://sipsn.menlhk.go.id/> (diakses Feb 19, 2020).
- [10] Presiden Republik Indonesia, “Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengolahan Sampah.” 2008, Diakses: Feb 19, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://pelayanan.jakarta.go.id/download/regulasi/undang-undang-nomor-18-tahun-2008-tentang-pengelolaan-sampah.pdf>.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. [1]

[2]

[3]

[4]

[5]

[6]

[7]

[8]

[9]

[10]

2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



[11]

B. Iswanto, D. Indrawati, dan D. I. Hendrawan, "Optimasi Model Bioreaktor Pengolahan Sampah Organik Rumah Tangga di Perkotaan," *Prosiding Seminar Nasional Kota Berkelanjutan 2018*, hlm. 240–253, 2018.

[12]

Suyitno, N. Muhammad, dan Dharmanto, *Teknologi Biogas*. Surakarta: Graha Ilmu, 2010.

[13]

E. Hambali, S. Mujdalifah, A. H. Tambunan, A. W. Pattiwiri, dan R. Hendroko, *Teknologi Bioetanol*. Bogor: PT AgroMedia Pustaka, 2007.

[14]

S. Wahyono, "Pengolahan Sampah Organik dan Aspek Sanitas," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. Vol.2, No. 2, Mar 2001.

[15]

N. Harun, N. A. Othman, N. A. Zaki, M. R. N.A, S. R.A, dan A. Hashim, "Simulation of Anaerobic Digestion for Biogas Production from Food Waste Using SuperPro Designer," *ICCSE*, 2019.

[16]

M. Monice, "ANALISIS PEMANFAATAN ENERGI DARI PENGOLAHAN METODE LANDFILL DI TPA MUARA FAJAR PEKANBARU," *Rang Teknik Journal*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Jun 2018, doi: 10.31869/rtj.v1i2.700.

[17]

A. P. Garcia, "Techno-economic feasibility study of a small-scale biogas plant for treating market waste in the city of El Alto," *KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology*, 2014.

[18]

A. Sugiyono, A. Adiarso, R. E. P. Dewi, Y. Yudiantono, A. Wijono, dan N. Larasati, "ANALISIS KEEKONOMIAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS DARI POME DENGAN CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)," *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, vol. 13, no. 1, Art. no. 1, Apr 2019, doi: 10.29122/mipi.v13i1.3232.

[19]

M. Mel, A. S. H. Yong, Avicenna, S. I. Ihsan, dan R. H. Setyobudi, "Simulation Study for Economic Analysis of Biogas Production from Agricultural Biomass," *Energy Procedia*, vol. 65, hlm. 204–214, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.01.026.

[20]

J. Y. Kang, D. W. Kang, T. S. Kim, dan K. B. Hur, "Comparative economic analysis of gas turbine-based power generation and combined heat and power systems using

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



biogas fuel,” *Energy*, vol. 67, hlm. 309–318, Apr 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.01.009.

M. Aswadi dan Hendra, “Perencanaan Pengelolaan Sampah di Perumahan Tavanjuka Mas,” *MEKTEK*, vol. Vol 13, No 2, Mar 2011.

D. Indrawati, B. Iswanto, dan A. K. umam, “Pengaruh Resirkulasi Leachate Pada Proses Dekomposisi Sampah Organik Secara Anaerob,” *JTL*, vol. Vol. 6 No.5, 113-122.

J. H. Lontoh, M. Rumbayan, dan G. M. Ch. Mangindaan, “Analisa Ekonomis Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Pada Pasar Tradisional,” *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. Vol.6 No.1, 2017.

I. Branchini, *Waste-to-Energy*. Bologna: Springer, 2014.

Khaidir, “Teknologi Produksi Biogas sebagai Bahan Bakar Alternatif Berbahan Baku Sampah Organik,” *Universitas Malikussaleh, LPPM-2015*, vol. Jurnal SAMUDRA Vol.9, No.2, Mei 2015.

N. Laili dan S. A. Wilujeng, “Pengaruh Pengaturan pH dan Pengaturan Operasional Dalam Produksi Biogas Dari Sampah,” 2012.

N. E. Korres, P. O’Kiely, J. A. H. Benzie, dan J. S. West, Ed., *Biology Production by Anaerobic Digestion - Using Agriculture Biomass and Organic Waste*. Routledge, 2013.

Zuliana, S. K. Wirawan, W. Budhijanto, dan R. B. Cahyono, “Pengaruh Kadar Air Umpan dan Rasio C/N pada Produksi Biogas dari Sampah Organik Pasar,” *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. Volume 9 No.1, 2015, hal.22–27, 2015.

F. Muhammad, “Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (Pltbg) On-Grid System Dari Sampah Organik Di Kota Pekanbaru,” Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru, 2016.

J. C. Solarte-Tolo, Y. Chacón-Pérez, dan C. A. Cardona-Alzate, “Evaluation of Biogas and Syngas as Energy Vectors For Heat and Power Generation Using Lignocellulosic Biomass as Raw Material,” *EJBT-D-17-00145*, 2018.



[31]

S. Achinas, D. Martherus, J. Krooneman, dan G. J. W. Euverink, "Preliminary Assessment of a Biogas-Based Power Plant from Organic Waste in the North Netherlands."

[32]

Intelligen, Inc., "Intelligen, Inc.: SuperPro Designer, Batch Process Simulation, Environmental Impact Assessment." https://www.intelligen.com/superpro_overview.html (diakses Mar 24, 2020).

[33]

A. B. Nasution, "Analisis Teknis dan Ekonomis Pembaangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) dengan Memanfaatkan Limbah Cair Kelapa Sawit (POME)," Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru, 2019.

[34]

S. Berg, G. Brobst, J. Edmons, A. McGuire, R. Menard, dan B. Tracy, "SuperPro® Designer User's Manual." .

[35]

"Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 27 tahun 2014." Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2014.

[36]

"SNI 19-3983-1995 Tentang Spesifikasi timbunan sampah untuk kota kecil dan sedang di Indonesia." Badan Standarisasi Nasional.

[37]

A. Pribadi, "Tarif Tenaga Listrik Januari-Maret 2021 Tetap," ESDM. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/tarif-tenaga-listrik-januari-maret-2021-tetap> (diakses Feb 15, 2021).



LAMPIRAN

Economic Evaluation Report

1. EXECUTIVE SUMMARY (2024 prices)

Total Capital Investment	65.409.000 \$
Capital Investment Charged to This Project	65.409.000 \$
Operating Cost	237.000 \$/yr
Main Revenue	700.000 \$/yr
Other Revenues	8.113.026 \$/yr
Total Revenues	8.813.000 \$/yr
Batch Size	631.313,15 kg MP
Cost Basis Annual Rate	8.207.071 kg MP/yr
Unit Production Cost	28,89 \$/1000 kg MP
Net Unit Production Cost	28,89 \$/1000 kg MP
Unit Production Revenue	1.073,80 \$/1000 kg MP
Gross Margin	97,31 %
Return On Investment	11,80 %
Payback Time	8,47 years
IRR (After Taxes)	13,83 %
NPV (at 5,0% Interest)	67.782.000 \$
MP = Total Flow of Stream 'Fertilizer'	

2. MAJOR EQUIPMENT SPECIFICATION AND FOB COST (2024 prices)

Quantity/ Standby/ Staggered	Name	Description	Unit Cost (\$)	Cost (\$)
1 / 0 / 0	AD-101	Anaerobic Digester Vessel Volume = 2755236,79 L	3.089.000	3.089.000
1 / 0 / 0	GT-101	Gas Turbine-Generator Electric Power = 11,44 MW	5.956.000	5.956.000
1 / 0 / 0	SG-101	Steam Generator Throughput = 4,71 MT/h	113.000	113.000
1 / 0 / 0	ET-101	Extraction Steam Turbine-Generator Turbine Delivered Shaft Power = 0,58 MW	77.000	77.000
1 / 0 / 0	GR-101	Grinder Rated Throughput = 2,08 MT/h	96.000	96.000
1 / 0 / 0	PM-101	Centrifugal Pump Pump Power = 0,08 kW	11.000	11.000
1 / 0 / 0	PM-102	Centrifugal Pump Pump Power = 0,13 kW	11.000	11.000
1 / 0 / 0	SP-101	Screw Press Throughput = 3353,01 kg/h	131.000	131.000
		Unlisted Equipment		498.000
		TOTAL		9.962.000

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



3. FIXED CAPITAL ESTIMATE SUMMARY (2024 prices in \$)

3A. Total Plant Direct Cost (TPDC) (physical cost)	
1. Equipment Purchase Cost	9.962.000
2. Installation	923.000
3. Process Piping	3.487.000
4. Instrumentation	3.985.000
5. Insulation	299.000
6. Electrical	996.000
7. Buildings	4.483.000
8. Yard Improvement	1.494.000
9. Auxiliary Facilities	3.985.000
TPDC	29.614.000
3B. Total Plant Indirect Cost (TPIC)	
10. Engineering	7.403.000
11. Construction	10.365.000
TPIC	17.768.000
3C. Total Plant Cost (TPC = TPDC+TPIC)	
TPC	47.382.000
3D. Contractor's Fee & Contingency (CFC)	
12. Contractor's Fee	2.369.000
13. Contingency	4.738.000
CFC = 12+13	7.107.000
3E. Direct Fixed Capital Cost (DFC = TPC+CFC)	
DFC	54.489.000

4. LABOR COST - PROCESS SUMMARY

Labor Type	Unit Cost (\$/h)	Annual Amount (h)	Annual Cost (\$)	%
Operator	1,08	27.716	29.324	100,00
TOTAL		27.716	29.324	100,00

8. UTILITIES COST (2024 prices) - PROCESS SUMMARY

Utility	Unit Cost (\$)	Annual Amount	Ref. Units	Annual Cost (\$)	%
Std Power	0,08	2.274.886	kW-h	181.991	98,02
Steam	15,00	245	MT	3.673	1,98
TOTAL				185.664	100,00

9. ANNUAL OPERATING COST (2024 prices) - PROCESS SUMMARY

Cost Item	\$	%
Raw Materials	0	0,00
Labor-Dependent	29.000	12,37
Laboratory/QC/QA	4.000	1,86
Consumables	0	0,00
Utilities	186.000	78,31
Transportation	18.000	7,47
Miscellaneous	0	0,00
Advertising/Selling	0	0,00
Running Royalties	0	0,00
Failed Product Disposal	0	0,00
TOTAL	237.000	100,00



10. PROFITABILITY ANALYSIS (2024 prices)

A.	Direct Fixed Capital	54.489.000 \$
B.	Working Capital	23.000 \$
C.	Startup Cost	10.898.000 \$
D.	Up-Front R&D	0 \$
E.	Up-Front Royalties	0 \$
F.	Total Investment (A+B+C+D+E)	65.409.000 \$
G.	Investment Charged to This Project	65.409.000 \$
H. Revenue/Savings Rates		
	Fertilizer (Main Revenue)	8.207.071 kg /yr
	P-2(Revenue)	89.205.387 kW-h/yr
	P-4(Revenue)	4.047.781 kW-h/yr
I. Revenue/Savings Price		
	Fertilizer (Main Revenue)	0,09 \$/kg
	P-2(Revenue)	0,09 \$/kW-h
	P-4(Revenue)	0,09 \$/kW-h
J. Revenues/Savings		
	Fertilizer (Main Revenue)	699.725 \$/yr
	P-2(Revenue)	7.760.869 \$/yr
	P-4(Revenue)	352.157 \$/yr
1	Total Revenues	8.812.751 \$/yr
2	Total Savings	0 \$/yr
K. Annual Operating Cost (AOC)		
1	Actual AOC	237.000 \$/yr
2	Net AOC (K1-J2)	237.000 \$/yr
L. Unit Production Cost /Revenue		
	Unit Production Cost	28,89 \$/1000 kg MP
	Net Unit Production Cost	28,89 \$/1000 kg MP
	Unit Production Revenue	1.073,80 \$/1000 kg MP
M.	Gross Profit (J-K)	8.576.000 \$/yr
N.	Taxes (10%)	858.000 \$/yr
O.	Net Profit (M-N + Depreciation)	7.718.000 \$/yr
	Gross Margin	97,31 %
	Return On Investment	11,80 %
	Payback Time	8,47 years

MP = Total Flow of Stream 'Fertilizer'

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





Cash Flow Analysis (CFC)

1. CASH FLOW ANALYSIS (thousand \$)

Year	Capital Investment	Debt Finance	Sales Revenues	Operating Cost	Gross Profit	Loan Payments	Depreciation	Taxable Income	Taxes	Net Profit	Net Cash Flow
1	- 16.347	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 16.347
2	- 21.796	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 21.796
3	- 16.369	0	1.469	64	1.405	0	5.176	1.405	140	6.441	- 9.928
4	0	0	8.813	237	8.576	0	5.176	8.576	858	12.895	12.895
5	0	0	8.813	237	8.576	0	5.176	8.576	858	12.895	12.895
6	0	0	8.813	237	8.576	0	5.176	8.576	858	12.895	12.895
7	0	0	8.813	237	8.576	0	5.176	8.576	858	12.895	12.895
8	0	0	8.813	237	8.576	0	5.176	8.576	858	12.895	12.895
9	0	0	8.813	237	8.576	0	5.176	8.576	858	12.895	12.895
10	0	0	8.813	237	8.576	0	5.176	8.576	858	12.895	12.895
11	0	0	8.813	237	8.576	0	5.176	8.576	858	12.895	12.895
12	0	0	8.813	237	8.576	0	5.176	8.576	858	12.895	12.895
13	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
14	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
15	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
16	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
17	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
18	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
19	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
20	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
21	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
22	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
23	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
24	0	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	12.377
25	2.747	0	8.813	- 4.939	13.752	0	0	13.752	1.375	12.377	15.124

IRR/NPV SUMMARY

IRR Before Taxes	22,27 %	Interest %	5,00	9,00	11,00
IRR After Taxes	21,02 %	NPV	105.850,00	56.625,00	40.639,00

Depreciation Method: Straight-Line
DPC Salvage Fraction: 0.050

2. LOAN INFORMATION (thousand \$)

	Direct Fixed Capital	Working Capital	Up Front R&D	Up Front Royalties
Amount	54.489	23	0	0
Equity (%)	100	100	100	100
Debt (%)	0	0	0	0
Interest (%)	9	12	12	12
Loan Time (yrs)	10	6	6	6

3. BREAKDOWN OF CAPITAL OUTLAY (\$)

Year	Direct Fixed Capital	Working Capital	Start-Up Cost	Up Front R&D	Up Front Royalties	Total
1	- 16.346.661	0	0	0	0	- 16.346.661
2	- 21.795.548	0	0	0	0	- 21.795.548
3	- 16.346.661	- 22.552	- 10.897.774	0	0	- 16.369.212
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
25	2.724.443	22.552	0	0	0	2.746.995

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Material & Stream (SR)



1. OVERALL PROCESS DATA

Annual Operating Time	7,800.00 h
Unit Production Ref. Rate	8,207,070.71 kg MP/yr
Batch Size	631,313.13 kg MP
Recipe Batch Time	600.00 h
Recipe Cycle Time	600.00 h
Number of Batches per Year	13.00
MP = Total Flow of Stream 'Fertilizer'	



sampah organik				
Procedure	%Total	MT/yr	MT/batch	MT/kg MP
Main Section (Main Branch)				
P-5	100.00	16.250	1,250.00	0.00
TOTAL	100.00	16.250	1,250.00	0.00
Water				
Procedure	%Total	MT/yr	MT/batch	MT/kg MP
Main Section (Main Branch)				
P-3	69.28	36.736	2,825.84	0.00
P-10	30.72	16.289	1,252.98	0.00
TOTAL	100.00	53.025	4,078.82	0.01

2.5 BULK MATERIALS: SECTION TOTALS (MT/kg MP)

Raw Material	Main Section
Air	0.02
sampah organik	0.00
Water	0.01
TOTAL	0.03

2.6 BULK MATERIALS: SECTION TOTALS (MT/batch)

Raw Material	Main Section
Air	10.98746
sampah organik	1,250.00
Water	4,078.82
TOTAL	16,316.28

2.7 BULK MATERIALS: SECTION TOTALS (MT/yr)

Raw Material	Main Section
Air	142.837
sampah organik	16.250
Water	53.025
TOTAL	212.112

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



3. STREAMDETAIL S

Stream Name	S-103	S-112	S-114	S-115
Source	INPUT	P-5	P-7	P-8
Destination	P-5	P-7	P-8	P-10
Stream Properties				
Activity (Umi)	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperature (°C)	25,00	25,00	25,00	25,01
Pressure (bar)	1,01	1,01	1,01	2,01
Density (g/L)	1,024,54	1,024,54	1,024,54	1,024,54
Total Enthalpy (KW-h)	21.324,64	21.324,64	21.324,64	21.339,16
Specific Enthalpy (kcal/kg)	14,68	14,68	14,68	14,69
Heat Capacity (kcal/kg °C)	0,55	0,55	0,55	0,55
Component Flowrates (MT/batch)				
Carbohydrates	350,00	350,00	350,00	350,00
Fats	150,00	150,00	150,00	150,00
Isin Isin	625,00	625,00	625,00	625,00
Proteins	87,50	87,50	87,50	87,50
Water	37,50	37,50	37,50	37,50
TO TAL (MT/batch)	1.250,00	1.250,00	1.250,00	1.250,00
TO TAL (L/batch)	1.220.058,95	1.220.058,95	1.220.058,95	1.220.059,15

Stream Name	Water	S-104	S-101	S-102
Source	INPUT	P-10	P-1	P-1
Destination	P-10	P-1	P-2	P-6
Stream Properties				
Activity (Umi)	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperature (°C)	25,00	25,01	35,00	35,00
Pressure (bar)	1,01	1,01	1,01	1,01
Density (g/L)	994,70	1,009,38	0,74	1,012,07
Total Enthalpy (KW-h)	36.564,61	57.903,77	26.272,37	68.854,84
Specific Enthalpy (kcal/kg)	25,11	19,90	27,80	35,06
Heat Capacity (kcal/kg °C)	1,00	0,75	0,46	1,00
Component Flowrates (MT/batch)				
Carb. Dioxide	0,00	0,00	179,23	0,00
Carbohydrates	0,00	350,00	0,00	0,00
Fats	0,00	150,00	0,00	0,00
Isin Isin	0,00	625,00	0,00	625,00
Methane	0,00	0,00	633,83	0,00
Proteins	0,00	87,50	0,00	0,00
Water	1.252,98	1.290,48	0,00	1.064,92
TO TAL (MT/batch)	1.252,98	2.502,98	813,06	1.689,92
TO TAL (L/batch)	1.259.650,70	2.479.713,11	1.101.972.585,03	1.689.762,06

Stream Name	S-107	Fertilizer	S-113	Alir
Source	P-6	P-9	P-9	INPUT
Destination	P-9	OUTPUT	OUTPUT	P-2
Stream Properties				
Activity (Umi)	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperature (°C)	35,02	35,02	35,02	25,00
Pressure (bar)	2,01	2,01	2,01	1,01
Density (g/L)	1,012,07	1,049,38	991,05	1,18
Total Enthalpy (KW-h)	68.878,51	25.679,35	43.204,98	77.252,78
Specific Enthalpy (kcal/kg)	35,07	35,00	35,12	6,05
Heat Capacity (kcal/kg °C)	1,00	1,00	1,00	0,24
Component Flowrates (MT/batch)				
Isin Isin	625,00	625,00	0,00	0,00
Nitrogen	0,00	0,00	0,00	8.428,68
Oxygen	0,00	0,00	0,00	2.558,78
Water	1.064,92	6,31	1.058,60	0,00
TO TAL (MT/batch)	1.689,92	631,31	1.058,60	10.987,46
TO TAL (L/batch)	1.689.762,01	601.608,21	1.068.159,79	9.317.553.447,51

Stream Name	S-105	Water for SG	S-106	S-109
Source	P-2	INPUT	P-3	P-3
Destination	P-3	P-3	OUTPUT	P-4
Stream Properties				
Activity (Umi)	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperature (°C)	441,94	25,00	35,00	308,58
Pressure (bar)	1,01	1,01	1,01	100,00
Density (g/L)	0,47	994,70	1,35	37,25
Total Enthalpy (KW-h)	2.812.502,45	82.484,00	280.439,75	2.473.901,53
Specific Enthalpy (kcal/kg)	205,07	25,11	20,45	753,26
Heat Capacity (kcal/kg °C)	0,25	1,00	0,33	0,48
Component Flowrates (MT/batch)				
Carb. Dioxide	1.917,99	0,00	1.917,99	0,00
Nitrogen	8.428,68	0,00	8.428,68	0,00
Oxygen	30,34	0,00	30,34	0,00
Water	1.423,48	2.825,84	1.423,48	2.825,84
TO TAL (MT/batch)	11.800,48	2.825,84	11.800,48	2.825,84
TO TAL (L/batch)	24.904.593.979,18	2.840.834,24	8.735.485.912,38	75.869.769,71

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masa
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Stream Name	S-111
Source	P-4
Destination	OUTPUT
Stream Properties	
Activity (U/m)	0,00
Temperature (°C)	100,00
Pressure (bar)	1,01
Density (g/L)	0,60
Total Enthalpy (kW-h)	2.127.937,32
Specific Enthalpy (kcal/kg)	647,92
Heat Capacity (kcal/kg °C)	0,46
Component Flowrates (MT/batch)	
Water	2.825,84
TO TAL (MT/batch)	2.825,84
TO TAL (L/batch)	4.730.339,667,95

4. OVERALL COMPONENT BALANCE (MT/batch)

COMPONENT	INITIAL	INPUT	OUTPUT	FINAL	IN-OUT
Carb. Dioxide	0,00	0,00	1.917,99	0,00	- 1.917,99
Carbohydrates	0,00	350,00	0,00	0,00	350,00
Fats	0,00	150,00	0,00	0,00	150,00
Minerals	0,00	625,00	625,00	0,00	0,00
Nitrogen	0,00	8.428,68	8.428,68	0,00	0,00
Oxygen	0,00	2.558,78	30,34	0,00	2.528,44
Proteins	0,00	87,50	0,00	0,00	87,50
Water	0,00	4.116,32	5.314,24	0,00	- 1.197,92
TO TAL	0,00	16.316,28	16.316,24	0,00	0,04
Overall Error:					0,00%



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Doni Kurniawan, lahir di Sungai Salak, 22 November 1994 sebagai anak kedua dari Bapak Ammismar dan Ibu Yendri Yelis yang beralamat di Jl. Lintas Sumatra Kec.Pulau Punjung Kab.Dharmasraya Hp 0852 6577 9367
email : doni.kurniawan@students.uin-suska.ac.id.
HP : 0821 6907 0512



Pengalaman pendidikan yang dilalui dimulai pada SDN 1 Sungai Salak tahun 2001 – 2007 dan dilanjutkan di SMPN 1 Tempuling tahun 2007 – 2010. Setamat SMP pendidikan dilanjutkan di SMAN 1 Tempuling hingga 2013. Kemudian kuliah di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau dan lulus tahun 2021 dengan judul penelitian ”Analisi Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) dari Sampah Organik Kabupaten Bengkalis ”.

1. Hak Cipta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.